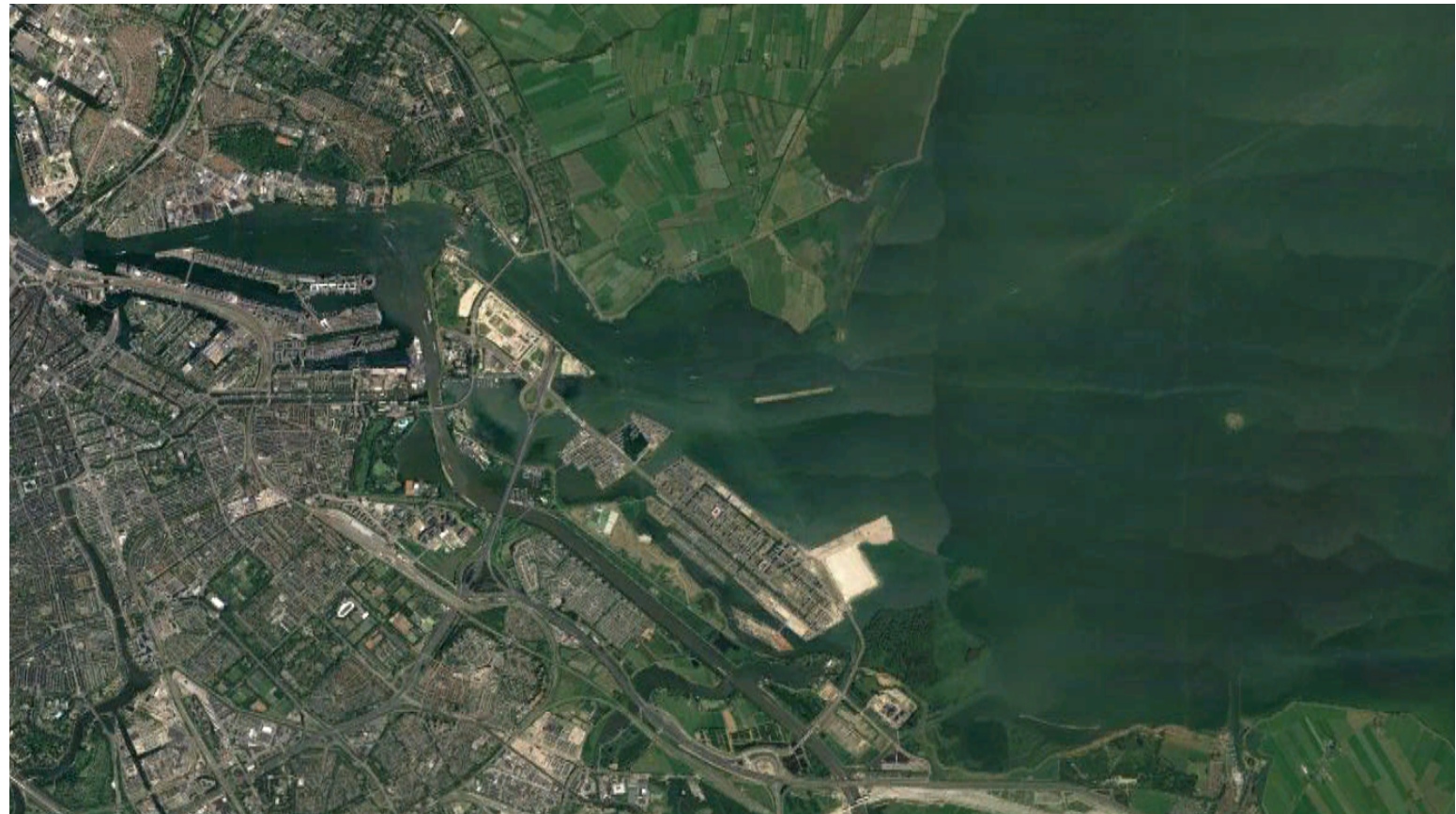


‘Building with Nature’-type oplossingen voor waterveiligheidsproblematiek IJburg-Amsterdam



J. Jansma

Januari 2018

Foto voorpagina: google earth.

‘Building with Nature’- type oplossingen voor de waterveiligheidsproblematiek IJburg-Amsterdam

Masterscriptie

J. Jansma

4040791

Master of Science
in Hydraulic Engineering

Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen (CiTG) - Technische Universiteit Delft

15 januari 2018

Afstudeercommissie:

Prof. dr. ir. S.G.J. Aarninkhof
Ir. J.P. van den Bos
Dr. D.K. van Wesenbeeck
Ir. H. van Hees

TU Delft
TU Delft
TU Delft, Deltares
Gemeente Amsterdam



Een elektronische versie van de scriptie is beschikbaar op: <http://repository.tudelft.nl/>.

Voorwoord

Dit rapport is het afsluitende onderdeel van de masterstudie Civiele Techniek sectie Waterbouwkunde aan de Technische Universiteit Delft. Het afstudeeronderzoek richt zich op de waterveiligheidsproblematiek in IJburg-Amsterdam en het ontwerpen van Building with Nature-type oplossingen aangaande deze problematiek. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam.

Ik wil graag de leden van de commissie bedanken: Stefan Aarninkhof, Jeroen van den Bos, Bregje van Wesenbeeck en Hein van Hees. De ondersteuning en de begeleiding tijdens mijn onderzoek heb ik als onmisbaar ervaren. Mijn dagelijkse begeleider, Hein van Hees, wil ik speciaal bedanken voor zijn inspirerende en positieve instelling waardoor hij mij wist te motiveren. Daarnaast bedank ik mijn collega bij Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam Franco Pantano voor zijn vakinhoudelijk steun. Ook wil ik andere collega's en medestudenten op kantoor benoemen voor de ontspanning, inspiratie en motivatie.

Tenslotte, wil ik graag mijn familie en vrienden bedanken. Mijn ouders, broer en schoonzus voor de onvoorwaardelijke steun en begrip in mijn studietijd in zijn algemeenheid en tijdens mijn afstudeerperiode in het bijzonder. Ook gaat mijn dank naar vrienden en vriendinnen voor hun steun en geboden hulp.

Jil Jansma
Amsterdam, Januari 2018

Summary

Due to the demand for housing in the city of Amsterdam, the local government started to build a group of islands in the area of lake IJmeer-Markemeer. The project was called IJburg; two phases of development would be created in consecutively order with the idea that the two would be connected at a later stage. Figure 0-1 gives an illustration of IJburg for the total configuration of islands: phase 1 in red, phase 2 in yellow. In 2002 the first phase of IJburg was finished and people moved into their houses. At this very moment, the last part of phase 1 is still not developed. In the meantime the Municipality of Amsterdam has decided to start building houses in the second phase in 2023. However, further decisions are very uncertain with regard to further development of IJburg phase 2. The last island of phase 2, called 'Buiteneiland', is not yet decided. If it will be reclaimed and when decisions are taken by the Municipality is unknown. But the actual primary flood defense is related to the originally planned final configuration of islands of phase 1 and phase 2. Today, further study is required what effect the last island, 'Buiteneiland', has to the water safety of IJburg in total.

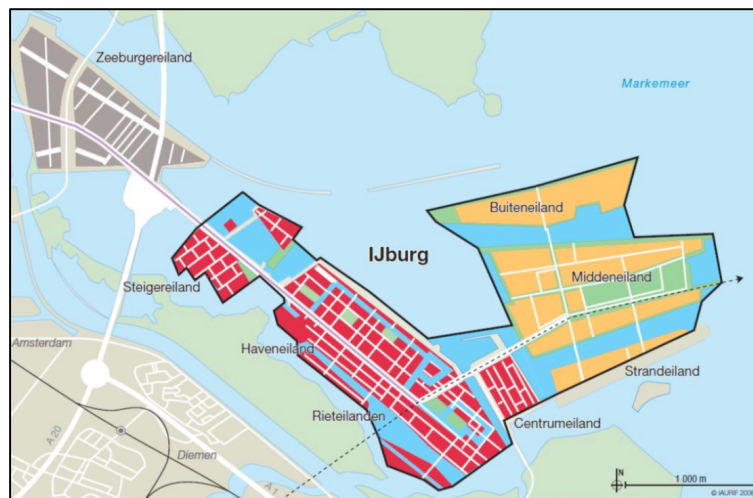


Figure 0-1: IJburg: total configuration of islands (phase 1 red and phase 2 yellow)

In January 2017 new standards for water safety are set for primary flood defenses in the Netherlands. If the primary flood defense of IJburg phase 1 would be tested to the new standards, it may not meet the latest requirements. The Municipality of Amsterdam is and will be responsible for all consequences of their policy regarding decisions taken to reclaim 'Buiteneiland'. The Municipality of Amsterdam should act and take measures to test if the primary flood defense meets the requirements of the latest standards of 2017. However, it looks like that there are more needs and ambitions within the Municipality than just water safety. Preference is given to act at one hand to water safety and at the other hand to ambitions and objectives in relation to green land and water in the city it-self. In this respect the multi-disciplinary approach of a hydraulic engineering problem is well integrated in a concept of hydraulic engineering. It is called Building with Nature (BwN): a new approach to hydraulic engineering that uses the forces of nature to benefit environment, economy and society. From this, the question arises:

“What is the effect of the implementation of the new water safety standards for primary flood defense since decisions are postponed by the Municipality of Amsterdam with regards to Buiteneiland and the water safety in IJburg, which BwN-type of solutions does exists to guarantee water safety, and which BwN-type of solution is recommended for the Municipality of Amsterdam”

To evaluate the water safety in IJburg the required crest height of the primary flood defense is to be calculated. There are two developments taken into consideration: the implementation of the new water safety standards for primary flood defense and the postponed decision of the Municipality of Amsterdam with regards to Buiteneiland. To assess the effect of both developments separately, four scenarios will be introduced in this thesis whereby each scenario has a technical design including the required crest height:

Scenario 1: Water safety IJburg related to the total configuration of islands in accordance with the old standards for primary flood defense;

Scenario 2: Water safety IJburg related to the non-existence of Buiteneiland in accordance with the old standards for primary flood defense;

Scenario 3: Water safety IJburg related to the total configuration of islands in accordance with the new standards for primary flood defense;

Scenario 4: Water safety IJburg related to nonexistence of Buiteneiland in accordance with the old standards for primary flood defense.

To determine the required crest height of the flood defense of each scenario, the hydraulic boundary conditions are to be established of each scenario. The boundary conditions are established by a special program created by the National Government called Hydra Models. The required crest height is calculated by program PC Overslag. Further attention is given to the wave development in IJburg Bay. Physical processes are qualitatively described and quantitative calculated for which the software program SwanOne is used. Table 0-1 shows per scenario the calculated requisite crest height for the flood defense including the resulting water safety status.

Scenario	Buiteneiland	Standards primary flood defense	Requisite crest height	Water safety
1	Existence	Old	1,85 m	Sufficient
2	Nonexistence	Old	2,09 m	Insufficient
3	Existence	New	1,90 m	Sufficient
4	Nonexistence	New	2,45 m	Insufficient

Table 0-1: Water safety status per scenario

From the calculations it is learned that the presence of Buiteneiland has a significant effect on the hydraulic boundary conditions. By non-existence of Buiteneiland the required crest height of the primary flood defense does not meet the standards of 2017 by which the water safety of IJburg is insufficient. Even if a conservative approach is taken into consideration in relation to the old standards as well as the new standards the water safety of IJburg is insufficient. In case Buiteneiland is not reclaimed a dike reinforcement is needed to fulfill the required safety levels to meet the new standards.

In case of non-existence of Buiteneiland the new standards for water safety the future scenario implies that the dike should be reinforced with 0.6 meter increased crest height with the further consequence to shift a reference line inwards. Due to this reinforcement the adjacent footpath will be replaced by rock. The footpath will no longer be accessible.

When the original planned configuration of islands are reclaimed there will not be a problem of water safety in IJburg. Study shows that the water safety problem is not due to the new standards but will be relevant when Buiteneiland is excluded. In the period 2000 - 2017 new knowledge has been developed and gained because of climate change as well as improved computer software programs. New study show new outcome and provides more information of the hydraulic boundary conditions and the strength of dikes. Calculations prove that the applicable uncertainty margins for flood defense the crest height could be decreased. In case of IJburg, a lower crest height could be calculated. But, that is not the case. The water level of lake IJmeer-Markermeer is artificially maintained by water level management. Due to the uncertainty with regard to water level for lake IJmeer-Markermeer, uncertainty margins are added for the water-level. It is, therefore, that the required crest height remains almost the same.

The problem has been established. The worst case scenario is considered the zero-alternative for designing alternatives according to the Building with Nature approach. In order to determine the demands of the alternatives: requirements, boundary conditions and needs are determined. This is the outcome of an area-, ecological- and a stakeholder-analysis. For the requirements, boundary conditions and needs, a distinction is made between the primary function, water safety, and the secondary functions ecology and recreation. From this, five alternatives are developed: 'IJmeer Wadden', 'Sand-bank', 'Sand-island', 'Green-island' and 'Nature-island'.

'IJmeer Wadden'

IJmeer Wadden is a nature reserve (18 ha) situated at the same spot where Buiteneiland would be reclaimed. The island would consist of sand, clay and silt. IJmeer Wadden would resist wind and waves from the North East to protect the existing phase 1 IJburg and create a shadow zone in the IJburg Bay. Nature reserve; sand plates; mud flats and reed banks would be suitable for, amongst other things, mussels, snails and water insects. The aquatic animals are food for breeding birds and non-breeding birds such as tufted ducks, pochards, nuns, topper ducks and coots. Much of the bird fowl that have conservation protection in this area. In addition, the location of the nature reserve is an ideal place for birds to moult and to rest after foraging on the adjacent mussel beds. In addition to an area full of life, it contributes to better water quality in the IJmeer by using silt sediment from the Oergeul located in the IJburg Bay. The design philosophy of IJmeer Wadden comes from an existing project Marker Wadden. Marker Wadden is an archipelago of wetland islands by using innovative techniques like using silt as building material

'Sand-bank'

The Building with Nature alternative is an artificially created sandbank (7 hectares) situated at the location of the originally planned Buiteneiland. Extreme north-eastern wind and waves can be suppressed by the sandbank. As a result,

there will be no need to strengthen the actual flood defense at IJburg phase 1, Haveneiland West. The necessary sand needed for the sandbank can be supplied by the other reclaimed land project of the Municipality of Amsterdam called Middeneiland. Middeneiland is the other island in the second phase of IJburg. Extra sand is used as an extra layer in the process of settling the ground. As soon as it reaches its final state, and the extra layer of sand is not needed any more, it can be used for another project; the Sandbank. A recreational island in a dynamic design can be created for sports, like wind- and kite surfers. In winter, when there is hardly any sport activity on lake IJmeer, birds can use the sandbank for mounting and resting. In addition the sandbank will reinforce the effect to the foraging the birds by the adjacent mussel beds.

‘Sand-island’

Sand-island is in principle the same as the Sandbank. The difference is that Sand-island does not have a dynamic character as the Sand-bank. To protect IJburg to extreme North East wind and waves originated by lake IJmeer-Markermeer the rough side of Sand-island is constructed with a rubble mount revetment. At the lee side there is no rubble mount revetment but consists of a sandy slope. The island is meant for watersports and for nature for example providing waterfowl sufficient mounting and room for resting.

‘Green-island’

In the design, the rubble mount revetment is replaced by a sandy slope along the entire length of the flood defense of Haveneiland West. The principle is a sandy shore containing a gently slope. Waves are broken by the slope and dike is safe. New plant and animal species find their new habitat through the natural land-water transitional slope. In addition to the green, the design offers a beach for watersports like kite- and wind surfers. It is extra to the marina IJburg. By creating a sandy foreshore over the entire length, there are plenty of recreational opportunities. It even creates the opportunity to have a beach for the city. The original robust appearance of the flood defense is given a green, dynamic character and access to open water.

‘Nature-island’

Nature-island is a nature reserve (10 ha) situated where Buiteneiland was originally planned. Due to the reclaimed island North-East waves cannot pass through to the existing phase 1 IJburg. At the other side of Nature-Island a shadow zone is developed. Nature-island is created at the same spot and similar as Buiteneiland would be in the first place. In size large enough to create a big effective shadow zone in the IJburg Bay. By creating Nature-island according to the basic concept of Buiteneiland. No temporary solution or extra costs would be necessary. Buiteneiland was also by the city planners intended to have a natural character which means that the Building with Nature alternative does not deviate from the original design. Nature-island is permanent wherefore opportunities for nature will remain. It will have great potential from ecological point of view. Nature-island consists of sand and clay enclosed with rubble mount revetment. The size of the island creates sufficient resting and moulting places for waterfowl and the reed will be ideal for breeding birds. The location of Natureiland is suitable as a stepping stone. It is close to the other islands in IJburg and Amsterdam North. Despite the fact it could be well connected to other area's Nature-island is not intended for people in order to give nature development a chance, the island adds much to the overall configuration of IJburg. Nature can be fully experienced by nature lovers in the form of recreational boating.

With regard to flood risk management for the Municipality of Amsterdam a preferred solution is highly dependent on multiple aspects and uncertainties regarding developments in the future. A cost-benefit analysis, stakeholder analysis and a scenario analysis has been performed, to enable decision taking of the Municipality of Amsterdam with a preferred solution.

As a result of the analysis carried out, it can be concluded that the preference for the Municipality of Amsterdam will be the Sand-island. The cost-benefit analysis shows that Sand-island is the cheapest solution considering investment costs by Building with Nature alternatives. In addition, Sand-island has all the ecological and recreational benefits formulated, but it does not improve the physical and chemical water quality of the system area.

A traditional dike could be cheaper. However, a traditional dike reinforcement offers no ecological and recreational benefits and has the disadvantage that the existing footpath should be replaced by rock revetment. In addition, the dyke reinforcement is a permanent solution. If local government decides to construct Buiteneiland, the flood defense can be adjusted to the original situation. Obviously this results in additional cost. Sand-island can serve as a temporary measure. The sandbar can be used as a basic element in the construction of Buiteneiland. In result, the design responds maximally to the scenario that it is uncertain when Buiteneiland is constructed. Costs for the temporary measure are covered in the reduced costs of construction for the Buiteneiland. Furthermore, the design does not conflict with the interests of the identified stakeholders, which is conducive to the implementation process.

Samenvatting

Om aan de woningvraag in Amsterdam te voldoen werd in 2000 de bouw van eilandengroep IJburg gestart in het IJmeer-Markermeer. IJburg bestaat uit twee fases die achtereenvolgend aan elkaar zouden worden aangelegd. In 2002 betrokken de eerste bewoners hun huizen op de eerste fase van IJburg. Momenteel is het laatste eiland van fase 1 nog onbebouwd en is gepland dat in 2023 wordt gestart met extra bebouwing van huizen op de tweede fase. Echter, verdere beslissingen met betrekking tot de gehele aanleg van IJburg in de tweede fase is op dit moment nog uiterst onzeker. Omdat het huidige waterbouwkundig ontwerp nog steeds uit gaat van de definitieve situatie van fase 1 en fase 2, is onderzoek naar het effect van het uitblijven van het Buiteneiland op de waterveiligheidsstatus nodig. Daarnaast is vanaf januari 2017 een nieuwe waterkeringsnormering en veiligheidsfilosofie voor dijken, dammen en duinen in Nederland wettelijk van kracht. De mogelijkheid bestaat dat door de implementatie van de nieuwe normering de waterkering van IJburg fase 1 niet voldoet.

Gemeente Amsterdam is verantwoordelijk voor de consequenties van veranderd beleid met betrekking tot het besluiten van het niet aanleggen van Buiteneiland. Indien de kering niet voldoet ten gevolge van het Buiteneiland zal Gemeente Amsterdam een maatregel moeten treffen. Naast waterveiligheid kent Gemeente Amsterdam meer ambities. De voorkeur voor Gemeente Amsterdam is om met een maatregel aan de ene kant waterveiligheid te waarborgen en aan de andere kant ambities en doelstellingen omtrent groen en water in de stad te vervullen. De multidisciplinaire aanpak van een waterbouwkundig probleem sluit aan bij een nieuwe stroming in de waterbouwkunde 'Building with Nature' (BwN): Een nieuwe manier van ontwerpen die de natuur benut, waardoor tegelijk kansen voor economie, natuur en maatschappij ontstaan. Hieruit is de volgende hoofdvraag ontstaan voor het onderzoek:

"Wat is het effect van de implementatie van de nieuwe normering voor primaire waterkeringen en het uitgestelde besluit van B&W voor het eiland Buiteneiland op de waterveiligheidsstatus in IJburg, welke BwN alternatieven bestaan er om de waterveiligheid in IJburg te garanderen, en welk alternatief wordt geadviseerd voor Gemeente Amsterdam?"

Om de waterveiligheidsstatus van IJburg te beoordelen worden scenario's opgesteld waarbij de twee ontwikkelingen in acht worden genomen: uitgesteld besluit met betrekking tot het aanleggen van Buiteneiland en de implementatie van de nieuwe normering voor primaire keringen in Nederland. Om het effect van de ontwikkelingen afzonderlijk te beoordelen resulteert dit zich in 4 scenario's:

- Scenario 1: Waterveiligheidsstatus IJburg uitgaande van de totale eilandengroep conform de oude normering voor primaire waterkeringen;
- Scenario 2: Waterveiligheidsstatus IJburg uitgaande van de afwezigheid van Buiteneiland conform de oude normering voor primaire waterkeringen;
- Scenario 3: Waterveiligheidsstatus IJburg uitgaande van de totale eilandengroep, conform de nieuwe normering voor primaire waterkeringen;
- Scenario 4: Waterveiligheidsstatus IJburg uitgaande van de afwezigheid van Buiteneiland, conform de nieuwe normering voor primaire waterkeringen.

Voor ieder scenario wordt een waterbouwkundig ontwerp geleverd met de vereiste kruinhoogte. De kruinhoogteberekeningen worden uitgevoerd aan de door Rijksoverheid beschikbaar gestelde programma's als Hydra Modellen en PC Overslag. In de thesis wordt ook aandacht gegeven aan de golfontwikkeling in de IJburgbaai. Fysische verschijnselen worden kwalitatief beschreven en kwantitatief berekend met behulp van het programma SwanOne.

Door de berekende vereiste kruinhoogten van de ontwerpen voor de scenario's kan geconcludeerd worden dat het Buiteneiland een dusdanig groot effect heeft op de hydraulische randvoorwaarden, derhalve, de vereiste kruinhoogte van de primaire waterkering dat met de afwezigheid van het eiland de huidige waterveiligheidsstatus in IJburg onvoldoende is uitgaande van een conservatieve benadering. Dit geldt voor zowel de toepassing van de oude normering (overschrijdingsbenadering) als de toepassing van de nieuwe normering (overstromingskansbenadering). Bij het uitblijven van Buiteneiland, voor zowel toepassen van de oude als de nieuwe normering, een moet dijkversterking plaatvinden om aan het geëiste waterveiligheidsniveau te voldoen. Berekend is dat voor de toekomstige situatie zonder aanwezigheid van Buiteneiland en de toepassing van de nieuwe normering de kruinverhoging 0,6 meter bedraagt. Hierdoor wordt het aangrenzend wandelpad vervangen voor een stortstenen bekleding, wat ongewenst is. Uit onderzoek blijkt dat het waterveiligheidsprobleem enkel te verklaren is door het uitblijven van Buiteneiland en niet door de toepassing van de nieuwe normering. Echter, in de tijd, 2000-2017, hebben ontwikkelingen plaatsgevonden met betrekking tot rekenprogramma's en kennisontwikkelingen betreffende het klimaat. Dit heeft invloed op de uitkomsten van de berekeningen. Er kan geconcludeerd worden dat door de nieuwe overstromingskansbenadering als gevolg van kennisontwikkeling wordt verwacht dat onzekerheden met betrekking tot hydraulische belasting en de sterkte van de dijk worden verkleind, derhalve, onzekerheidsmarges met betrekking tot dijkontwerpen worden verkleind. Dit betekent dat een lagere vereiste kruinhoogte wordt verwacht voor de primaire kering in IJburg. Echter, doordat er veel onzekerheden zijn met betrekking tot het peilbeheer in de toekomst voor het toepassingsgebied IJmeer-

Markermeer, worden er toch onzekerheidsmarges toegevoegd (waterstandsniveau en robuustheidsmarge), waarna vereiste kruinhoogte nagenoeg gelijk blijft.

Nadat het probleem is vastgesteld wordt de 'worst case'-scenario als 0-alternatief gesteld bij het ontwerpen van de BwN alternatieven. Om de eisen, randvoorwaarden en wensen, oftewel oplossingsrichtingen, voor de alternatieven vast te stellen wordt er een gebiedsanalyse, ecologische analyse en een stakeholderanalyse uitgevoerd. In de oplossingsrichtingen wordt er onderscheidt gemaakt tussen de primaire functie waterveiligheid en de secundaire functies ecologie en recreatie. Uit de oplossingsrichtingen ontstaan een vijftal oplossingen, genoemd: IJmeer Wadden, Zanddam, Zandeiland, Groenstrand en Natuureiland. In de waterbouwkundig ontwerpen van de BwN alternatieven voor dijkverhoging wordt uitgegaan van natuurlijke elementen zoals wind, stroming, flora en fauna waardoor voordelen kunnen worden geboden voor zowel natuur, recreatie als kostenreductie. De alternatieven berusten op twee verschillende principes om de waterveiligheid te waarborgen zonder dat de kruinhoogte van de primaire waterkering moet worden verhoogd: dempen van golfslag door infrastructuur waarbij een schaduwzone in de IJburgbaai wordt gecreëerd en aanleggen van een zandige vooroever voor de huidige kering. De dagelijkse windcondities spelen een belangrijke rol in de ontwerpen betreffende onverdedigde zandige taluds. De zandige taluds bieden zowel voordelen voor natuur (land-waterovergangen en rust- en rustplaatsen voor watervogels) als recreatie (windsurf-, kitesurf-, zwemmogelijkheden en creatie van stadsstrand). Daarnaast is het gebruik van zand in de ontwerpen gewenst doordat zand beschikbaar komt uit een ander project binnen IJburg. Hierdoor worden kosten gereduceerd en werk met werk gemaakt. Naast zand is er ook nagedacht om met slibmateriaal te werken. Het slibmateriaal is aanwezig in het systeemgebied en overmatig slib is ongewenst door het negatieve effect op de waterkwaliteit. Door het opnemen en verwerken van slibachtig materiaal wordt de waterkwaliteit verbeterd, natuurgebied ontwikkeld en een oplossing geboden op de waterveiligheidsproblematiek. Een laatste belangrijk aspect om voordelen te behalen in tegenstelling tot traditionele dijkverhoging, is het inspelen met het ontwerp op mogelijke beleidsplannen betreft de configuratie van eilanden. Dit wordt gedaan door het creëren van tijdelijke ontwerpen met een mogelijkheid tot permanent karakter.

Op basis van de uitgevoerde analyses (kosten-baten analyse, stakeholderanalyse, scenarioanalyse) kan geconcludeerd worden dat de voorkeur voor Gemeente Amsterdam uit gaat naar oplossing Zandeiland. Uit de kosten-baten analyse is gebleken dat Zandeiland de goedkoopste oplossing betreft op basis van de investeringskosten onder de BwN-type ontwerpen. Daarnaast beschikt Zandeiland over alle geformuleerde ecologische en recreatieve baten op de verbetering van het fysisch en chemische waterkwaliteit van het systeemgebied na. Desalniettemin, is een traditionele lokale dijkverhoging goedkoper met betrekking tot de investeringskosten van het ontwerp. Echter, biedt een lokale dijkversterking geen ecologische en recreatieve baten en heeft het nadelig effect van het inleveren van het huidige wandelpad op de dijk. Daarbij komend is betreft de dijkversterking een permanente oplossing. Als B&W besluit Buiteneiland aan te leggen, zal de waterkering kunnen worden aangepast naar de oorspronkelijke situatie wat nogmaals kosten betreft. Daarentegen, Zandeiland kan als een tijdelijke maatregel dienen waarna de zandplaat gebruikt kan worden als eerste aanleg van Buiteneiland. Hierdoor speelt het ontwerp maximaal in op het scenario dat onzeker is wanneer Buiteneiland wordt aangelegd en worden kosten voor de tijdelijk maatregel terugverdiend in de reductie van aanlegkosten van het Buiteneiland. Daarbij kunnen kosten gereduceerd worden door het zand voor het ontwerp te gebruiken afkomstig van de overhoogte van Middeneiland. Verder is het ontwerp niet in conflict met de belangen bij de geïdentificeerde stakeholders wat bevorderlijk is voor het implementatie proces.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	IV
SAMENVATTING	VI
INHOUDSOPGAVE	XII
LIJST VAN FIGUREN	XIV
LIJST VAN TABELLEN	XVI
LIJST VAN VERGELIJKINGEN	XVII
AFKORTINGEN	XVIII
1 INLEIDING	1
1.1 IJBURG	1
1.2 PROBLEEMDEFINITIE	3
1.3 'BUILDING WITH NATURE'	3
1.4 DOELSTELLINGEN	4
1.5 LEESWIJZER	5
2 ACHTERGROND	7
2.1 IJBURG	7
2.2 WATERVEILIGHEID	10
2.3 ECOLOGIE	13
2.4 RECREATIE	23
3 WATERVEILIGHEIDSTATUS IJBURG	25
3.1 HYDRAULISCHE BELASTING	25
3.2 KARAKTERISTIEKEN VAN DE GOLFCONDITIES RONDOM IJBURG	27
3.3 BEOORDELING WATERVEILIGHEIDSTATUS IJBURG	33
3.4 EFFECT VAN HET BUITENEILAND EN NIEUWE NORMERING OP WATERVEILIGHEIDSTATUS IJBURG	44
4 STAKEHOLDERANALYSE	46
4.1 METHODE	46
4.2 STAKEHOLDERS EN HUN BELANGEN	46
4.3 STAKEHOLDERS EN HUN POSITIE	51
5 OPLOSSINGSRICHTINGEN	55
5.1 EISEN EN WENSEN VANUIT DE PRIMAIRE FUNCTIE; WATERVEILIGHEID	55
5.2 RANDVOORWAARDEN	56
5.3 WENSEN VANUIT DE SECUNDAIRE FUNCTIE ECOLOGIE	57
6 BUILDING WITH NATURE-TYPE OPLOSSINGEN	59
6.1 'IJMEER WADDEN'	59
6.2 'ZANDBANK'	62
6.3 'ZANDEILAND'	65
6.4 'GROENSTRAND'	67
6.5 'NATUUREILAND'	70
6.6 OVERZICHT KARAKTERISTIEKEN BWN ALTERNATIEVEN	72
6.7 STERKTEN, ZWAKTEN, KANSEN EN BEDREIGINGEN ONTWERPEN	74
7 EVALUATIE CONCEPTUEEL ONTWERPEN	75
7.1 EFFECT OP WENSEN VAN PRIMAIRE EN SECUNDAIRE FUNCTIES ONTWERP	75
7.2 KOSTEN-BATEN ANALYSE	79
7.3 VOORKEURSALETERNATIEF PER STAKEHOLDERS	80
7.4 VOORKEURSALETERNATIEF GEMEENTE AMSTERDAM	82
7.5 CONCLUSIE	83

8	CONCLUSIES	85
9	AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK.....	87
	BIBLIOGRAFIE.....	89
A	REFERENTIEPROJECTEN BUILDING WITH NATURE	91
	A.1 ZANDIGE VOOROEVER HOUTRIBDIJK	91
	A.2 MARKER WADDEN	91
	A.3 MARKERMEERDIJKEN	92
B	HYDRA MODELLEN.....	93
	B.1 HYDRA M	93
	B.2 HYDRA ZOET.....	96
	B.3 RESULTATEN HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN	98
C	SWANONE.....	99
	C.1 BODEMPROFIEL.....	100
	C.2 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN	100
	C.3 RESULTATEN	101
D	PC OVERSLAG.....	102
	D.1 GOLFOPLOOP EN GOLFOVERSLAG	102
	D.2 PC OVERSLAG; TECHNISCHE UITGANGSPUNTEN	104
	D.3 PC OVERSLAG; RESULTATEN.....	105
E	INFORMATIE IJBURG.....	107
	E.1 DAGELIJKSE WINDCONDITIES IJBURG	107
	E.2 PLANNING SCHEMA MIDDENEILAND.....	107
F	EVALUATIE CONCEPTUEEL	108
	F.1 EFFECTEN MATRIX WENSEN PRIMAIRE FUNCTIE; WATERVEILIGHEID.....	108
	F.2 EFFECTEN MATRIX WENSEN SECUNDAIRE FUNCTIE; ECOLOGIE.....	109
	F.3 EFFECTEN MATRIX WENSEN SECUNDAIRE FUNCTIE; RECREATIE	109
	F.4 KOSTENOVERZICHT	110

Lijst van Figuren

FIGUUR 1-1: TOTALE CONFIGURATIE IJBURG; FASE 1 (ROOD) EN FASE 2 (GEEL).....	2
FIGUUR 1-2: LUCHTFOTO IJBURG HUIDIGE SITUATIE (FASE 1 MET CENTRUMEILAND ONBEBOUWD EN START LANDMAKEN FASE 2 MIDDENEILAND).....	2
FIGUUR 1-3: STRUCTUUR THESIS	5
FIGUUR 2-1: PLANGEBIED IJBURG MET GROEN GEARCEERD HET NATURA 2000 GEBIED.....	7
FIGUUR 2-2: PLANGEBIED IJBURG (GEMEENTE AMSTERDAM, 2009).....	9
FIGUUR 2-3: NIEUWE NORMERING- SIGNALERINGSWAARDE DIJKTRAJECT 13A – IJBURG (RIJKSOVERHEID, 2017A).....	11
FIGUUR 2-4: STANDAARD FAALKANSBEGROTING NIEUWE NORMERING.....	12
FIGUUR 2-5: VOEDSELKETENS IJMEER-MARKERMEER (NMIJ, 2015).....	14
FIGUUR 2-6: NATURA 2000 GEBIEDEN	15
FIGUUR 2-7: INSTANDHOUDINGSDOELSTELLINGEN NATURA-2000 IJMEER-MARKERMEER (“ESSENTIETABEL IJMEER-MARKERMEER,” 2000).....	15
FIGUUR 2-8: TROEBEL WATER IJMEER-MARKERMEER	16
FIGUUR 2-9: KWALITEITSELEMENTEN IJMEER-MARKERMEER KRW.....	16
FIGUUR 2-10: FACTOREN, PARAMETERS EN PROCESSEN INVLOED OP DOORZICHT (RUURD NOORDHUIS & BLAAS, 2016).....	17
FIGUUR 2-11: CAUSAAL RELATIE-DIAGRAM MET FYSISCHE, CHEMISCHE EN BIOLOGISCHE FACTOREN VOOR WATERKWALITEIT.....	18
FIGUUR 2-12: LOCATIE VAN OERGEUL BIJ IJBURG.....	18
FIGUUR 2-13: LOCATIE VAN OERGEUL IN MIDDENEILAND-IJBURG	18
FIGUUR 2-14: NATUURNETWERK NEDERLAND PLANGEBIED IJBURG (DONKERGROEN: ECOLOGISCHE STRUCTUUR, GROEN: HOOFDGROENSTRUCTUUR, LICHTGROEN: NATIONAAL NATUUR NETWERK)	19
FIGUUR 2-15: NATUUREILAND	20
FIGUUR 2-16 NATUURONTWIKKELINGSPROJECTEN IJBURG (TIMAR, 2014)	21
FIGUUR 2-17: RECREATIEVE VOORZIENINGEN IJBURG	23
FIGUUR 2-18: VAARNETWERK PASSAGIERS- EN CRUISEVAART.....	23
FIGUUR 3-1: BEDREIGENDE INVLOEDEN OP DE RANDVOORWAARDEN PER WATERSYSTEEM IN NEDERLAND.....	26
FIGUUR 3-2: PEILBESLUIT IJSSELMEER (RIKSWATERSTAAT, 2016A).....	26
FIGUUR 3-3: WATERSTAND; MECHANISME AFWAAIING EN OPWAAIING.....	27
FIGUUR 3-4: GOLFONTWIKKELING IJBURGBAAI; TOTALE CONFIGURATIE.....	28
FIGUUR 3-5: GOLFONTWIKKELING IJBURGBAAI; AFWEZIGHEID BUITENEILAND	28
FIGUUR 3-6: LIGGING MOSSELBANKEN SYSTEEMGEBIED IJBURG	29
FIGUUR 3-7: BATHYMETRIE SYSTEEMGEBIED IJBURG.....	30
FIGUUR 3-8: SIGNIFICANTE GOLFHOOOGTE [M] (Y-AS) PER AFSTAND [M] (X-AS)	32
FIGUUR 3-9: PIEKPERIODE [S] (Y-AS) PER AFSTAND [M] (X-AS).....	32
FIGUUR 3-10: GOLFRICHTING [°] (Y-AS) PER AFSTAND [M] (X-AS)	32
FIGUUR 3-11: WATERDIEPTE [M] (Y-AS) PER AFSTAND [M] (X-AS).....	32
FIGUUR 3-12: SCENARIO MATRIX; CONFIGURATIE EILANDEN EN NORMERING PRIMAIRE KERING.....	33
FIGUUR 3-13: MATRIX GEBRUIKTE MODELLEN PER SCENARIO	34
FIGUUR 3-14: SCENARIO 1; MAATGEVENDE STRIJKLENGTE	34
FIGUUR 3-15: ILLUSTRATIE WATERKERING HAVENEILAND WEST; ECOLOGISCHE EN RECREATIEVE WAARDEN.....	36
FIGUUR 3-16: TECHNISCHE TEKENING PRIMAIRE WATERKERING HAVENEILAND WEST	37
FIGUUR 3-17: SCENARIO 2; MAATGEVENDE STRIJKLENGTE	38
FIGUUR 3-18: SCENARIO 3; MAATGEVENDE STRIJKLENGTE	39
FIGUUR 3-19: SCENARIO 4; MAATGEVENDE STRIJKLENGTE	42
FIGUUR 3-20: ILLUSTRATIE CONSEQUENTIE KERING SCENARIO 4.....	44
FIGUUR 4-1: BERTHAANSTRAKADE; DIJKPROFIEL HAVENEILAND WEST – IJBURG	49
FIGUUR 4-2: MATE VAN INVLOED EN BELANG PER STAKEHOLDER	53
FIGUUR 6-1: ILLUSTRATIE IJMEER WADDEN	59
FIGUUR 6-2: BwN ALTERNATIEF 1; IJMEER WADDEN.....	60
FIGUUR 6-3: PRINCIPEPROFIEL 1; ZANDIG TALUD (RECHTS), COMPARTIMENT SLIB (MIDDEN), STREK DAM (LINKS)	61
FIGUUR 6-3 PILOT MOERAS IN PIONIERFASE 2 JAAR NA AANLEG (DANKERS, WICHMAN, & VAN KERKVOORDE, 2015)	61
FIGUUR 6-5: ILLUSTRATIE ZANDBANK.....	63
FIGUUR 6-6: BwN ALTERNATIEF 2; ZANDBANK	64
FIGUUR 6-7: PRINCIPEPROFIEL 2; BULK ZAND BOVEN WATER (MIDDEN) MET ZANDIG TALUD (RECHTS EN LINKS)	64
FIGUUR 6-8: ILLUSTRATIE ZANDEILAND.....	65
FIGUUR 6-9: BwN ALTERNATIEF 3; ZANDEILAND	66
FIGUUR 6-10: PRINCIPEPROFIEL 3; ZANDIG TALUD (RECHTS), BULK ZAND BOVEN WATER (MIDDEN), STREK DAM (LINKS)	67
FIGUUR 6-11: ILLUSTRATIE GROENSTRAND	67
FIGUUR 6-12: ILLUSTRATIE AANBRENGEN ZANDIGE VOOROEVER VOOR WATERKERING HAVENEILAND WEST	68
FIGUUR 6-13: BwN ALTERNATIEF 4; GROENSTRAND.....	69

FIGUUR 6-14: PRINCIPEPROFIEL 4; KRUIN KERING (LINKS), ZANDIG TALUD (RECHTS).....	69
FIGUUR 6-15: ILLUSTRATIE NATUUREILAND.....	70
FIGUUR 6-16: BWN ALTERNATIEF 5; NATUUREILAND	71
FIGUUR 6-17: PRINCIPEPROFIEL 5; STORTSTENEN STREK DAM (LINKS), COMPARTIMENT ZAND PLAS-DRASGEBIED (MIDDEN), STORTSTENEN STREK DAM (LINKS).....	71
FIGUUR 6-18: ILLUSTRATIE 'IJMEER WADDEN'	73
FIGUUR 6-19: ILLUSTRATIE 'ZAND DAM'.....	73
FIGUUR 6-20: ILLUSTRATIE 'ZANDEILAND'	73
FIGUUR 6-21: ILLUSTRATIE 'GROENSTRAND'	73
FIGUUR 6-22: ILLUSTRATIE 'NATUUREILAND'.....	73
FIGUUR 7-1: RELATIEVE VERGELIJKING ALTERNATIEVEN PER STAKEHOLDER OP BASIS VAN GEPRIORITEERD BELANG.....	81
FIGUUR 7-2: DIAGRAM VOORKEURSALTERNATIEF.....	83
FIGUUR A-1: ZANDIGE VOOROEVER HOUTRIBDIJK	91
FIGUUR A-2: MARKER WADDEN.....	92
FIGUUR A-3: MARKERMEERDIJK.....	92
FIGUUR B-1: HYDRA M; DIJKPROFIEL HAVENEILAND WEST-IJBURG	94
FIGUUR B-2: HYDRA M; ILLUSTRATIEPUNTEN HAV2 EN BUE3.....	94
FIGUUR B-3: HYDRA ZOET; MAATVOERING DIJKPROFIEL HAVENEILAND WEST	96
FIGUUR B-4: HYDRA ZOET; ILLUSTRATIEPUNT BUE3	97
FIGUUR B-5: HYDRA ZOET; ILLUSTRATIEPUNT HAV2.....	97
FIGUUR B-6: HYDRA ZOET; ILLUSTRATIEPUNT HAV2	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
FIGUUR B-7: BOVENAANZICHT VAN HET PLANGEBIED: EILANDENCONFIGURATIE IJBURG EN ILLUSTRATIEPUNTEN	99
FIGUUR C-1: METHODIEK PER TRAJECT (BUE3-IJBURBAAI-TEEN WATERKERING HAVENEILAND WEST) GOLFONTWIKKELING IJBURBAAI	99
FIGUUR C-2: BATHYMETRIE SYSTEEMGEBIED IJBURG.....	100
FIGUUR C-3: SWANONE; BODEMPROFIEL	100
FIGUUR C-4: SWANONE; PROFIELSCHETS TEN OPZICHT VAN NOORD	101
FIGUUR D-5 ASPECTEN BEOORDELING DIJKHOOGTE (VAN DER MEER, 2002).....	102
FIGUUR D-6: GOLFOPLOOP ALS FUNCTIE VAN BREKERPARAMETER	103
FIGUUR D-7: PC OVERSLAG; MAATVOERING PROFIEL.....	104
FIGUUR E-1: WINDROOS OP BASIS VAN 35 JAAR HINDCAST AFKOMSTIG UIT HIRLAM VOOR IJMEER (POORTMAN ET AL., 2016).....	107

Lijst van Tabellen

TABEL 2-1 NATUURONTWIKKELINGSPROJECTEN IJBURG (TIMAR, 2014)	22
TABEL 3-1: FYSISCHE VERSCHIJNSELEN RONDOM IJBURG EN DE MATE VAN INVLOED WAARIN: (++) STERK AANWEZIG, (+) AANWEZIG, (0) VERWAARLOOSBAAR, (-) NIET AANWEZIG	31
TABEL 3-2: SWANONE; RESULTATEN	32
TABEL 3-3: SCENARIO 1; HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN HYDRA M	35
TABEL 3-4: SCENARIO 1; VEREISTE KRUINHOOGTE HYDRA M	35
TABEL 3-5: SCENARIO 2; HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN HYDRA M	38
TABEL 3-6: SCENARIO 2; VEREISTE KRUINHOOGTE HYDRA M	38
TABEL 3-7: PARAMETERS FAALKANSEIS GOLFOOPLOOP EN GOLFOVERSLAG	39
TABEL 3-8: MEERPEILSTIJGINGEN IJMEER-MARKERMEER	40
TABEL 3-9: ONZEKERHEIDSTOESLAGEN VOOR HET IJMEER-MARKERMEER	41
TABEL 3-10: SCENARIO 3; HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN HYDRA ZOET	41
TABEL 3-11: SCENARIO 3; VEREISTE KRUINHOOGTE PC OVERSLAG	41
TABEL 3-12: SCENARIO 4; HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN HYDRA ZOET	42
TABEL 3-13: SCENARIO 4; GOLFONTWIKKELING IJBURGBAAI RESULTATEN SWANONE	42
TABEL 3-14: SCENARIO 4; KRUINHOOGTEBEREKENINGEN PC OVERSLAG	43
TABEL 3-15: RESULTATEN; WATERVEILIGHEIDSNIVEAU PER SCENARIO	43
TABEL 3-16: KARAKTERISTIEKEN BEOORDELINGSMETHODE HUIDIG ONTWERP (ANNO 2000) EN TOEKOMSTIG ONTWERP (ANNO 2017) ..	44
TABEL 4-1: OVERZICHT STAKEHOLDERS: BELANGEN MET BETREKKING TOT HET ONTWERP	50
TABEL 4-2: PRIMAIRE EN SECUNDAIRE FUNCTIES ONTWERP	51
TABEL 6-1: KARAKTERISTIEKEN BWN ALTERNATIEVEN; MAATREGEL, LOCATIE, KARAKTER, MATERIAAL, ZICHTJAAR EN OMVANG	72
TABEL 6-2: OVERZICHT STERKTEN, ZWAKTEN, KANSSEN EN BEDREIGINGEN VAN BWN-TYPE OPLOSSINGEN	74
TABEL 7-1: EFFECTENMATRIX VOOR WENSEN PRIMAIRE FUNCTIE; ENGINEERING	76
TABEL 7-2: EFFECTENMATRIX VOOR WENSEN SECUNDAIRE FUNCTIE; ECOLOGIE	78
TABEL 7-3: EFFECTENMATRIX VOOR WENSEN SECUNDAIRE FUNCTIE; RECREATIE	78
TABEL 7-4: KOSTEN-BATEN RANGORDE ALTERNATIEVEN	79
TABEL B-1: HYDRA M; HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN SCENARIO 1 EN 2	95
TABEL B-2: HYDRA M; KRUINHOOGTEBEREKENING SCENARIO 1 EN 2	95
TABEL B-3: MAATVOERING DIJKPROFIEL HAVENEILAND WEST	97
TABEL B-4: HYDRA ZOET; NORMERING	97
TABEL B-5: HYDRA ZOET; OVERSLAGCRITERIUM	97
TABEL B-6: HYDRA ZOET; ZICHTJAAR	97
TABEL B-7: HYDRA ZOET; WATERPEIL	97
TABEL B-8: HYDRA ZOET; RESULTATEN	98
TABEL B-9: OVERZICHT RESULTATEN SCENARIO 1,2,3,4	98
TABEL C-1: SWANONE; HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN TEEN WATERKERING HAVENEILAND WEST	101
TABEL D-1: PC OVERSLAG; MAATVOERING PROFIEL	104
TABEL D-2: PC OVERSLAG; HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN HYDRA ZOET EN SWANONE	105
TABEL D-3: HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN; MARGES EN ONZEKERHEDEN	105
TABEL D-4: PC OVERSLAG; HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN	105
TABEL D-5: UITGANGSPUNTEN BEOORDELING WATERKERING HAVENEILAND WEST	106
TABEL D-6: PC OVERSLAG; OVERZICHT IN- EN UITVOERWAARDEN SCENARIO 3 EN 4 (OVERSLAGDEBIET 5 [L/M/S] EN 10 [L/M/S])	106
TABEL F-1: EFFECTENMATRIX WENSEN PRIMAIRE FUNCTIE; WATERVEILIGHEID	108
TABEL F-2: EFFECTENMATRIX WENSEN SECUNDAIRE FUNCTIE; ECOLOGIE	109
TABEL F-3: EFFECTEN MATRIX WENSEN SECUNDAIRE FUNCTIE; RECREATIE	109
TABEL F-4: KOSTENOVERZICHT ALTERNATIEVEN	110

Lijst van Vergelijkingen

VERGELIJKING 3-1: GOLFREFRACHTIE	30
VERGELIJKING 3-2: FAALKANSEIS VOOR HET FAALMECHANISME GOLFOFLOOP EN GOLFOVERSLAG.....	39
VERGELIJKING D-1: BREKERPARAMETER	102
VERGELIJKING D-2: ALGEMENE FORMULE GOLFOFLOOP (FORMULE 3A: $0.5 < \epsilon_0 \Gamma_0 < 1.8$)	103
VERGELIJKING D-3: ALGEMENE FORMULE GOLFOFLOOP; MAXIMUMWAARDEN (FORMULE 3B: $1.8 < \epsilon_0 \Gamma_0 < 8$)	103
VERGELIJKING D-4: GOLFOVERSLAG; BREKENDE GOLVEN	103
VERGELIJKING D-5: GOLFOVERSLAG; NIET-BREKENDE GOLVEN	103

Afkortingen

AGV	(Waterschap) Amstel Gooi en Vecht
BwN	Building with Nature
B&W	Burgemeesters en Wethouders
HWBP	Hoogwaterbeschermingsprogramma
KRW	Kaderrichtlijn Water
NBPW	Nationaal Basisbestand Primaire Waterkeringen
NOF-IJ	Natuurontwikkelingsfonds IJmeer
OI2014	Ontwerp Instrumentarium 2014
WBI	Wettelijk Beoordelings Instrument

1

Inleiding

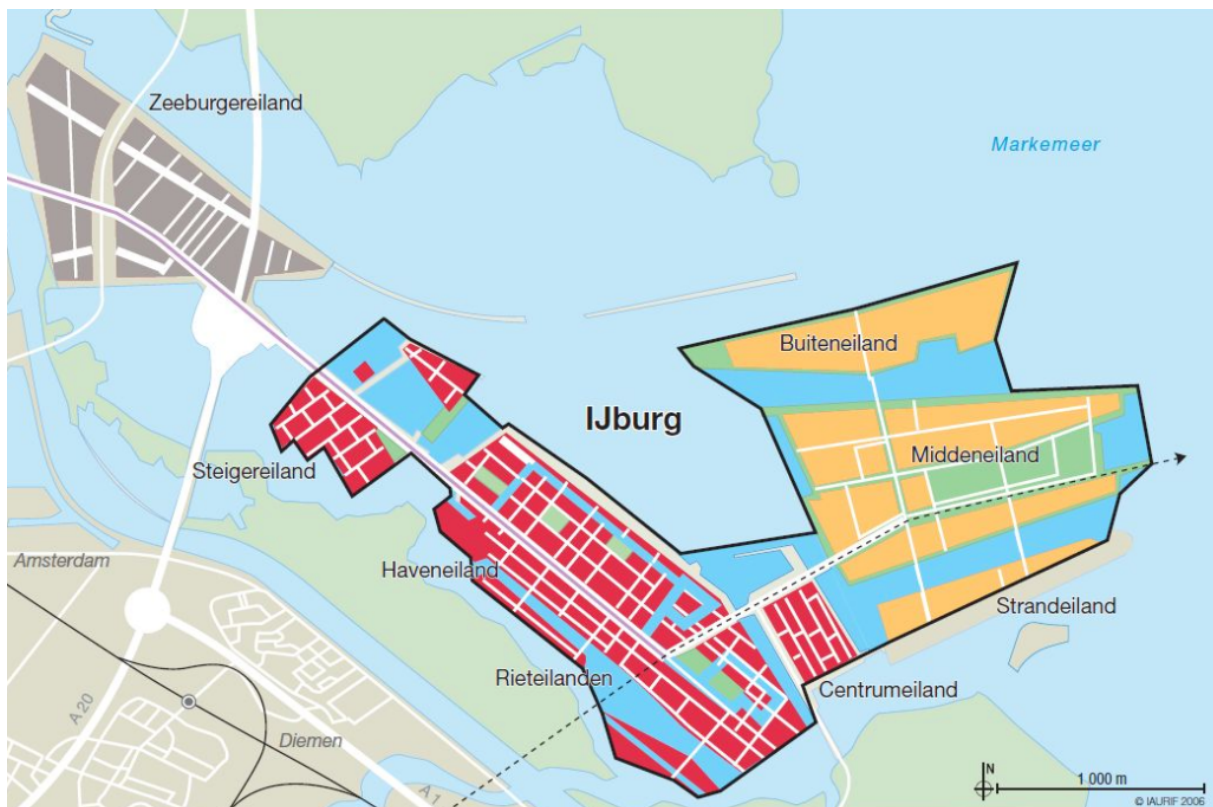
1.1 IJburg

Amsterdam kampt met een woningtekort (Zanen, Ponteyn, & Keijzer, 2011). Om aan de woningvraag te voldoen stelt de gemeenteraad van Amsterdam op 4 september 1996 het ontwerp voor IJburg vast en geeft hiermee groen licht voor een nieuw te ontwikkelen woonwijk van circa 18.000 woningen op zes nieuw op te spuiten eilanden in het IJmeer (Gemeente Amsterdam, 2009).

IJburg is een reeks van eilanden gelegen aan de rand van het IJmeer-Markermeer. Het eilandenrijk ligt in het verlengde van het Zeeburgereiland en parallel aan de oevers van de Diemerzeedijk en het Diemerpark in Amsterdam-Oost, zie Figuur 1-1. Bij de aanleg en bebouwing van het totale project IJburg is gesproken over een ontwikkeling in twee fases, in het figuur is dit weergegeven in rood (fase 1), respectievelijk, geel (fase 2). In november 2002 betrokken de eerste bewoners hun huizen op de eerste fase van IJburg. Momenteel is het laatste eiland van fase 1 nog onbebouwd en is gepland dat in 2023 wordt gestart met extra bebouwing op de tweede fase (Gemeente Amsterdam, 2017b). Figuur 1-2 toont een luchtfoto van de huidige situatie, september 2017, van IJburg: IJburg fase 1 met opgespoten landdeel Centrumeiland en een eerste landmaakeenheid van fase 2. De foto is vanaf het zuiden genomen.

IJburg bestaat in totaal uit zes eilanden. De eerste fase van IJburg betreft: Steigereiland, Haveneiland, de Rieteilanden en Centrumeiland. De geplande tweede fase van IJburg bestaat uit de eilanden: Middeneiland en Buiteneiland (zie Figuur 1-1). Oorspronkelijk was het gepland dat de tweede fase van ontwikkelingsgebied IJburg in 2012 klaar zou zijn. Dit voornemen is niet gehaald. Door intrede van de crisis in 2008 daalden de huizenprijzen en werd er bezuinigt op het gemeentebudget. Bovendien, oordeelde op 24 november 2004 de Raad van State dat door de aanleg van de nieuwe eilanden de gevolgen voor het milieu onvoldoende waren onderzocht. Dat alles tezamen gaf stagnatie in de bouw (Cleton & van den Ende, 2004).

Inmiddels heeft het college van Burgermeester en Wethouders (B&W) op 7 maart 2017 ingestemd met het besluit voor het aanleggen van het eerste deel van fase 2: dit is bijna de helft van het beoogde Middeneiland. De opstart van fase twee is daarmee een feit. Derhalve, in 2018 wordt een begin gemaakt met de aanleg van Middeneiland en de verwachting is dat in de periode tussen 2021 en 2026 er minimaal 600 woningen worden bebouwd (Monen, 2017). Verdere beslissingen met betrekking tot de gehele aanleg van IJburg in de tweede fase op dit moment zijn uiterst onzeker en het tweede deel van Middeneiland en het laatste eiland van IJburg, Buiteneiland, zijn geheel niet besloten. Het is niet bekend wanneer deze laatste delen van IJburg zullen worden gerealiseerd.



Figuur 1-1: Totale configuratie IJburg; fase 1 (rood) en fase 2 (geel)



Figuur 1-2: Luchtfoto IJburg huidige situatie (fase 1 met Centrumneiland onbebouwd en start landmaken fase 2 Middenneiland)

1.2 Probleemdefinitie

Het huidige waterbouwkundig ontwerp van IJburg fase 1, gaat nog steeds uit van de definitieve situatie zoals weergegeven in Figuur 1-1. Het eiland Buiteneiland ligt noordelijk ten opzichte van Middeneiland en noordoostelijk van huidige bebouwing fase 1. Buiteneiland heeft door zijn geografische ligging een reducerende werking voor golfaanval vanuit aangrenzend IJmeer-Markermeer. Het niet realiseren van Buiteneiland heeft hierdoor invloed op de hydraulische randvoorwaarden voor het ontwerp van de waterkering IJburg fase 1. Hierdoor kan het scenario bestaan dat door het niet aanleggen van Buiteneiland de waterkering niet meer voldoet aan de waterveiligheidseisen gesteld in 2000 (Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam, 2000).

Naast de veranderende situatie van eilanden, door het niet aanleggen van het eiland Buiteneiland, is vanaf januari 2017 een nieuwe normering en veiligheidsfilosofie voor dijken, dammen en duinen in Nederland wettelijk van kracht (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2016). De nieuwe waterveiligheidsnormering is gebaseerd op een nieuw principe waardoor een verandering heeft plaatsgevonden van een overschrijdingskansbenadering naar een overstromingskansbenadering. Beschreven in de Waterwet moeten beheerders van primaire waterkeringen tenminste eens in de twaalf jaar beoordelen of hun keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. De nieuwe normen zullen worden gehanteerd bij de beoordeling van de waterkeringen in de periode 2017-2023 (Slootjes & van der Most, 2016). De mogelijkheid bestaat dat door de implementatie van de nieuwe normering de waterkering van IJburg fase 1 niet voldoet. Het niet realiseren van het Buiteneiland en de implementatie van de nieuwe normering voor primaire waterkeringen resulteert in de volgende drie scenario's voor IJburg:

- 1 Door het niet aanleggen van Buiteneiland zijn randvoorwaarden veranderd en voldoet de kering niet conform de waterveiligheidseisen in 2000 uitgaande van de oude normering voor primaire waterkeringen in Nederland;
- 2 Door het niet aanleggen van Buiteneiland zijn randvoorwaarden veranderd en voldoet de kering niet conform de waterveiligheidseisen in 2017 uitgaande van de nieuwe normering voor primaire waterkeringen in Nederland;
- 3 Implementatie van de nieuwe normering voor primaire waterkeringen resulteert dat de waterkering niet meer voldoet uitgaande van de totale eilandengroep, inclusief het Buiteneiland.

Gemeente Amsterdam is verantwoordelijk voor de consequenties van veranderd beleid met betrekking tot het besluiten van het niet aanleggen van Buiteneiland. Dit houdt in dat bij het voordoen van bovenstaand scenario 1, Gemeente Amsterdam verantwoordelijk is voor maatregelen zodat het ontwikkelingsgebied IJburg aan de waterveiligheidseisen voldoet. Bij het voordoen van het derde scenario is Gemeente Amsterdam niet verantwoordelijk. Als blijkt dat de primaire kering niet voldoet worden aanpassingen voor versterking opgenomen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) uitgevoerd door Rijksoverheid (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2016).

Naast waterveiligheid kent Gemeente Amsterdam meer ambities. Het beleid van Gemeente Amsterdam is gebundeld in de Structuurvisie Amsterdam 2040. De structuurvisie laat zien hoe Amsterdam en zijn omgeving eruitzien in 2040. In deze visie zijn concrete opgaven gepresenteerd die de stad zich tot 2040 heeft gesteld zodat de stad economisch sterk blijft en duurzamer wordt. Een van deze opgaven is: "Het aantrekkelijk maken van zowel groen als water" (Zanen et al., 2011).

In deze thesis wordt een waterbouwkundige analyse uitgevoerd naar de huidige waterveiligheidsstatus van IJburg. Indien bovengenoemd scenario 1 of 2 zich voordoet, dient Gemeente Amsterdam een maatregel te treffen. Ter voorbereiding op dit scenario worden in deze thesis de ambities van Gemeente Amsterdam nagevolgd om aan de ene kant waterveiligheid te waarborgen en aan de andere kant ambities en doelstellingen omtrent groen en water in de stad te vervullen. Dit vereist een multidisciplinaire aanpak waarbij fysieke, ecologische en socio-economische factoren worden meegenomen om tot een oplossing te komen bij het voordoen van een waterveiligheidsprobleem. De multidisciplinaire aanpak van een waterbouwkundig probleem sluit aan bij een nieuwe stroming in de waterbouwkunde. Deze stroming profileert zich met een nieuwe manier van ontwerpen en heet 'Building with Nature' (BwN). In de volgende paragraaf wordt de nieuwe stroming binnen de waterbouwkunde BwN toegelicht.

1.3 'Building with Nature'

BwN gaat uit van de filosofie dat natuurlijke processen kunnen worden gebruikt om een bijdrage te leveren aan het functioneren van andere ambities. Een voorbeeld hiervan zijn duinen die fungeren als kustbescherming en tegelijkertijd recreatiemogelijkheden bieden. Zo neemt BwN bij het ontwerpen van waterbouwkundige oplossingen elementen van krachten in de natuur mee zoals wind en stroming, en maakt BwN zoveel mogelijk gebruik van diensten die door het ecosysteem worden geleverd; de voordelen die de natuur de samenleving biedt (de Vriend & van Koningsveld, 2012).

Het is een gegeven dat er vanuit Gemeente Amsterdam behoefte is aan een multifunctioneel ontwerp om alle kansen te benutten en meerdere belangen te behartigen door aan meerdere ambities dan alleen waterveiligheid te voldoen. Hierbij kan worden gedacht aan andere ambities als natuur- en landschapsontwikkeling in aansluiting op de natuurlijke en cultuurhistorische omgeving. Dit biedt een alternatief op de traditionele manier van ontwerpen waarbij een sober en doelmatige oplossing wordt geboden voor de versterking van de waterkering in de vorm van een dijkverhoging.

Het ontwerpproces van BwN verschilt van het traditionele manier van ontwerpen waarin enkel wordt gekeken naar de waterveiligheidseisen en randvoorwaarden. De ontwerpstappen van de BwN-filosofie rijkt verder door het de meegenomen fysieke, ecologische en socio-economische aspecten. De ontwerpstappen worden als volgt beschreven (Ecoshape, 2015):

- 1 Het systeem begrijpen, gegeven ecosysteem diensten, waarden en interesses;
- 2 Identificeer realistische alternatieven die ecosysteem diensten gebruiken en/of leveren;
- 3 Evalueer de kwaliteiten van elk alternatief en kies een integrale oplossing;
- 4 De geselecteerde oplossing afstemmen, gegeven praktische beperkingen en bestuurlijke context;
- 5 Bereid de oplossing voor implementatie in de volgende projectfase.

In het onderzoek worden de ontwerpstappen van BwN doorlopen.

1.4 Doelstellingen

Het doel van het onderzoek is het uitvoeren van een waterbouwkundige analyse over de waterveiligheidsstatus van IJburg met in achtneming van de veranderingen met betrekking tot de configuratie van eilanden en het beoordelen aan de hand van de nieuwe normering voor primaire waterkeringen. Verder wordt een technisch ontwerp voor de waterkering verwacht, sober en doelmatig, enkel op waterveiligheid berust. Vervolgens is het doel van het onderzoek om mogelijke alternatieven voor de waterveiligheidsproblematiek in IJburg te genereren uitgaande van BwN ontwerp filosofie. Daarbij, Gemeente Amsterdam in staat stellen om een keuze te kunnen maken voor een maatregel op de waterveiligheidsproblematiek in IJburg.

De hoofdvraag van de thesis is:

“Wat is het effect van de implementatie van de nieuwe normering voor primaire waterkeringen en het uitgestelde besluit van B&W voor het eiland Buiteneiland op de waterveiligheidsstatus in IJburg, welke BwN alternatieven bestaan er om de waterveiligheid in IJburg te garanderen, en welk alternatief wordt geadviseerd voor Gemeente Amsterdam?”

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- 1 Wat is het effect van het Buiteneiland en de veranderende normering voor primaire waterkeringen op de waterveiligheidsstatus van IJburg en voldoet de primaire waterkering aan de waterveiligheidseisen?
- 2 Wat zijn de belangrijkste stakeholders met betrekking tot het ontwerp en welke belangen behartigen zij?
- 3 Wat zijn de eisen, randvoorwaarden en wensen voor het ontwerp?
- 4 Wat voor BwN alternatieven bestaan er om de waterveiligheid te waarborgen en extra functionaliteiten te creëren voor IJburg?
- 5 Wat zijn de sterkten, zwakten, kansen en bedreigingen van iedere BwN-type oplossing?
- 6 Welk alternatief sluit het beste aan op de eisen en de wensen van Gemeente Amsterdam en stakeholders?

1.5 Leeswijzer

De thesis is opgedeeld in vier delen:

- A Introductie;
- B Analyse;
- C Conceptueel ontwerp;
- D Conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.

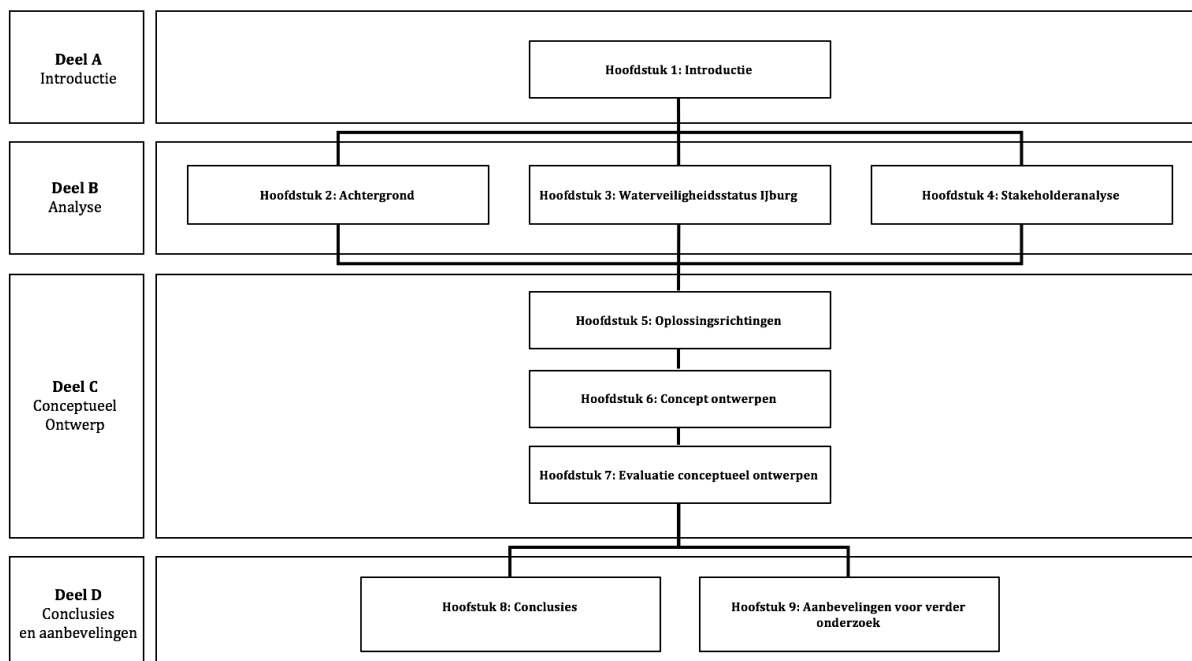
In **Deel A** wordt de introductie van de thesis weergegeven.

In **Deel B** wordt de analyse van het onderzoek weergegeven. Hoofdstuk 2 bevat achtergrondinformatie betreft het plangebied IJburg, de nieuwe normering omtrent waterveiligheid en ecologische en recreatieve aspecten rondom IJburg. In Hoofdstuk 3 wordt waterveiligheidsstatus van IJburg beoordeeld waarna aanpassingen voor de waterkering worden gepresenteerd. Hoofdstuk 4 wordt een stakeholderanalyse uitgevoerd.

Deel C geeft het conceptueel ontwerp. Het betreft de oplossingsrichtingen bepaald door het specificeren van de eisen, randvoorwaarden en wensen met betrekking tot het ontwerp in Hoofdstuk 5. Informatie uit Hoofdstuk 5 ondersteunt de BwN-type oplossingen in Hoofdstuk 6. Daarnaast wordt het inzicht in de oplossingen versterkt doordat de sterkten en de zwakten van iedere oplossing in kaart worden gebracht. Ten slotte, wordt inzicht gegenereerd dat Gemeente Amsterdam in staat stelt om een keuze te verantwoorden voor een oplossingsvariant aangaande de waterveiligheidsproblematiek. Dit wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 7 Evaluatie conceptueel ontwerpen.

In **Deel D** worden de conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek weergegeven in respectievelijk Hoofdstuk 8 en 9.

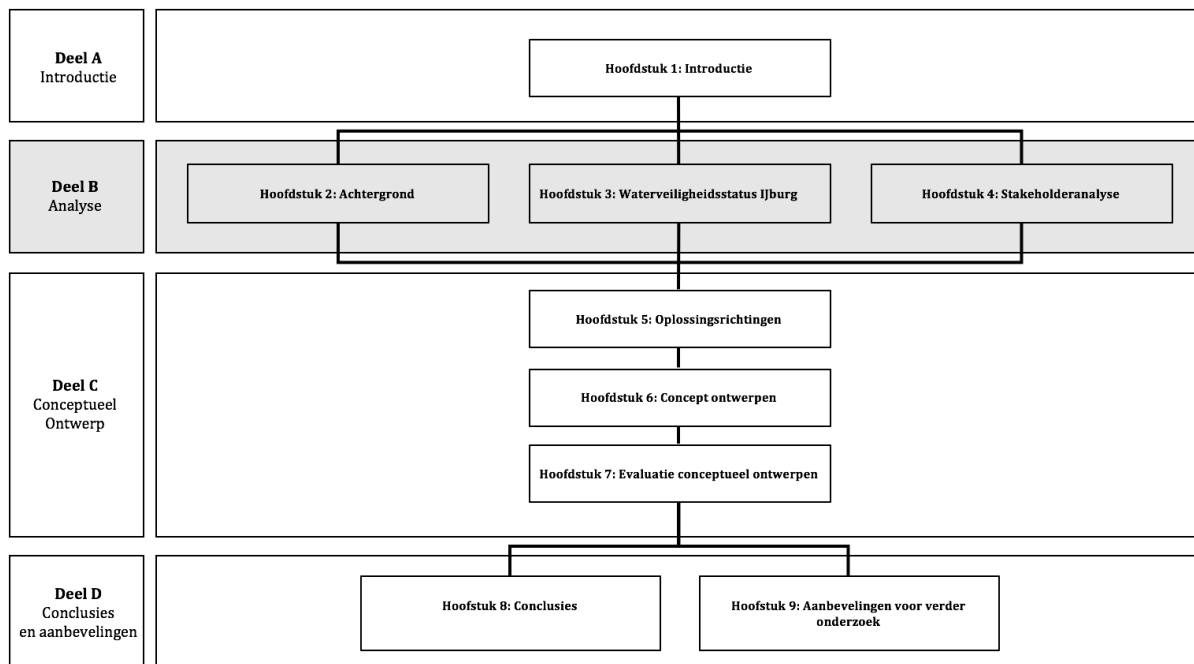
In Figuur 1-3 wordt de leeswijzer van het rapport weergegeven met de bovenstaand genoemde delen van het rapport en bijhorende hoofdstukken.



Figuur 1-3: Structuur thesis

Deel B

Analyse



2

Achtergrond

In dit Hoofdstuk wordt de achtergrondinformatie voor het onderzoek gepresenteerd. Dit is gericht op vier onderwerpen: IJburg, Waterveiligheid, Ecologie en Recreatie. De onderwerpen staan representatief voor achtereenvolgende paragrafen van dit Hoofdstuk. In de eerste paragraaf, IJburg, wordt ingegaan op de ontwikkeling van IJburg en de bijbehorende gebiedsinformatie. In de tweede paragraaf, Waterveiligheid, wordt achtergrondinformatie gegeven met betrekking tot de nieuw geïmplementeerde normering voor het beoordelen van primaire keringen in Nederland. De derde paragraaf, Ecologie, bevat informatie over de ecologisch systeem waarin IJburg zich bevindt en de status van de natuurwaarden. In de laatste paragraaf, Recreatie, worden huidige recreatie aspecten van het gebied in kaart gebracht.

2.1 IJburg

2.1.1 Historie

Aanhoudende bevolkingsgroei en een schrijnend woningtekort in Amsterdam was indertijd voor Gemeente Amsterdam aanleiding om de stad uit te breiden met eilandenrijk IJburg. Echter, het eenvoudig vinden van een locatie voor een stadsuitbreiding van substantiële omvang was een lastige opgave. De industrie ten westen van Amsterdam, Schiphol ten zuiden van Amsterdam en Waterland ten noorden van Amsterdam, lagen de kansen voor gebiedsuitbreiding in het oosten, namelijk, het IJmeer. Daar moest IJburg dus komen. Figuur 2-1 geeft het plangebied van IJburg weer gecentreerd in de illustratie aangrenzend aan het groen gearceerde. Het plangebied IJburg is tevens het grensgebied van Gemeente Amsterdam. Het in groen gearceerd gebied is een aangewezen Natura 2000 gebied en komt aan bod in de derde paragraaf van dit hoofdstuk. Dit wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 3: Waterveiligheidsstatus IJburg.

Ecologie.



Figuur 2-1: Plangebied IJburg met groen gearceerd het Natura 2000 gebied

Bouwplannen in het IJmeer dateren al vanaf de jaren '60. Het ene na het andere plan is gesneuveld. Pas in 1994 kwamen er ontwerpen op de tekentafel die bij de Gemeente Amsterdam op meer enthousiasme konden rekenen. IJburg, een plan

voor 18 duizend woningen op zeven nieuwe eilanden, kreeg in 1996 toestemming van de gemeenteraad (Gemeente Amsterdam, 2009). Ondanks de voortvarende toestemming van de gemeenteraad ging de aanleg van IJburg niet zonder slag of stoot. Natuurbeschermers kwamen in opstand. De aanleg van IJburg zou op twee aspecten strijdig met het landelijk natuurbeleid (Timar, 2014):

- Het plangebied bevindt zich in de Ecologische Hoofdstructuur. Voor dieren die langs oevers en in moerassen leven was de verbinding tussen Vechtstreek en Waterland juist hier erg kwetsbaar en het plangebied IJburg lag precies in het midden van dit gebied.
- IJburg was gepland vlak naast een gebied dat op de nominatie stond als Europees natuurreservaat. Dit is in Figuur 2-1 aangetoond door het in groen gearceerd gebied, het Natura 2000 gebied. In het IJmeer overwinterden internationaal belangrijke aantallen watervogels, die in het IJmeer een grote plas vonden die 's winters vrijwel altijd ijsvrij bleef. Hierdoor is hun favoriete voedsel (mossel, vis of waterplanten) steeds beschikbaar. Het IJmeer is daardoor voor deze dieren een essentiële schakel in de reeks grote zoetwatermeren van Europa.

Natuurbeschermers, waaronder Natuurmonumenten, hadden grote bezwaren tegen de plannen en uitten zich als geduchte tegenstanders. Zij wilden een referendum waarbij de beslissing van de gemeenteraad kon worden teruggedraaid. Het ging er fel aan toe waarin Gemeente Amsterdam en Natuurmonumenten als twee machtige organisaties lijnrecht tegenover elkaar stonden. Uiteindelijk kwam de discussie ten einde en werd op het nippertje door de gemeente gewonnen. De kiezers tegen IJburg hadden procentueel de meerderheid, maar het aantal stemmers was te laag om een representatieve afspiegeling te kunnen zijn van de Amsterdamse bevolking. De kater bij de natuurbeschermers was immens groot. De Gemeente Amsterdam voelde zich echter, moreel verplicht om bij de aanleg zoveel mogelijk rekening te houden met de zorgen van de natuurbeschermers. In de derde paragraaf van dit hoofdstuk, Ecologie, wordt verder toegelicht op welke manier gehoor is gegeven aan deze zorgen met betrekking tot natuurontwikkeling.

2.1.2 Het plangebied

IJburg wordt volledig omringd door gebieden die worden gekenmerkt door menselijke ingrepen in het landschap. Figuur 2-2 geeft het gebied weer met omringende relevante elementen die hieronder worden beschreven.

Aan de noordkant grenst IJburg aan het Buiten IJ. Dit was oorspronkelijk een open verbinding met de toenmalige Zuiderzee. Om de haven bereikbaar te houden werd het IJ eind negentiende eeuw afgedamd, met de Oranjesluizen voor de doorgang van het scheepvaartverkeer. De noodzakelijke vaargeul in het Buiten IJ wordt beschermd door een vier kilometer lange strekdam. Deze strekdam is de scheiding tussen de vaargeul voor het scheepvaartverkeer en het ontwikkelingsgebied voor IJburg. Deze is in rood weergegeven in Figuur 2-2.

Na het ontstaan van de Oranjesluizen en de strekdam werd een driehoekig stuk water ingedijkt als baggerbergplaats. Zo is daaruit rond 1930 het Zeeburgereiland ontstaan. Het Buiten IJ en het IJmeer zijn plaatselijk zo ondiep dat ze slechts voor kleine schepen met zeer geringe diepgang overal bevaarbaar zijn. De grotere scheepvaart is gebonden aan de vaargeulen. De belangrijkste vaargeul ligt direct ten noorden van het plangebied langs de strekdam en verbindt Amsterdam voor de beroepsvaart met het noordoosten van Nederland. Deze vaargeul wordt het Amsterdam-Lemmer kanaal genoemd.

Ten noorden van het Buiten IJ ligt het nationaal landschapspark Waterland, met recht tegenover IJburg het beschermd dorpsgezicht van Durgerdam. Ten oosten van Durgerdam ligt het beschermd natuurgebied van de polder IJdoorn. Tussen de IJdoornpolder en het IJmeer is in 2005 het natuurproject Hoeckelingsdam aangelegd. Deze dam is een van de natuurprojecten die zijn uitgevoerd ter compensatie van de aanleg van IJburg. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 3. Dit wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 3: Waterveiligheidsstatus IJburg.

Ecologie.

Ten oosten van het plangebied ligt het open water van het IJmeer. Met de bouw van de Afsluitdijk in 1932 is het IJmeer veranderd van een zoute lagune naar een zoet binnenmeer. De aanleg van de dijk van Enkhuizen naar Lelystad in 1975, de Houtribdijk, is de tweede ingreep die een grote verandering in het ecologisch systeem van het gebied heeft veroorzaakt. Ook hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 3. Prominent aanwezig in deze windrichting ligt het eiland Pampus, een van de beschermde monumenten van de stelling van Amsterdam. Pampus is het kruispunt van zichtlijnen en vaarrichtingen in de hele omgeving.

Ten westen van het plangebied liggen de eilanden van de eerste fase van IJburg en het Zeeburgereiland. In IJburg eerste fase zijn anno 2008 ruim 4000 woningen opgeleverd en er wordt volop gebouwd. In het binnenwater van IJburg eerste fase wordt een kleine haven voor recreatievaart gerealiseerd. Het Zeeburgereiland wordt geleidelijk getransformeerd tot een woon en werk gebied.

Ten zuiden van het plangebied ligt de Diemer Vijfhoek. Dit schiereiland is ontstaan door het aanplempen van grond dat was afgegraven voor de bouw van de naastgelegen elektriciteitscentrale. De Diemer Vijfhoek is de laatste decennia een gebied met bijzondere natuurwaarde geworden. Het is vastgelegd dat dit ook in de toekomst het geval zal blijven. Het westelijk deel van het eiland, waar een ontsluitingsweg voor IJburg tweede fase is voorzien, zal een gemengde functie krijgen met recreatief medegebruik (Gemeente Amsterdam, 2009).



Figuur 2-2: Plangebied IJburg (Gemeente Amsterdam, 2009)

2.1.3 Uitgangspunten ontwikkeling IJburg

Het milieueffectrapport van 1996 besteedt veel aandacht aan de landschappelijke en natuurwaarden van het IJmeer en ontwikkelt een milieuvriendelijke variant waarin de wijk niet langer door dijken van het IJmeer wordt gescheiden. De volgende uitgangspunten zijn vastgelegd voor ontwikkelingsgebied IJburg (Gemeente Amsterdam, 2009):

- IJburg dient ruimte te bieden voor de bouw van 18.000 woningen;
- IJburg is als eilandenrijk te gast in het IJmeer;
- Er is sprake van een stedelijk milieu, met een compleet pakket van voorzieningen, kantoren en bedrijven;
- IJburg biedt mogelijkheden voor recreatie aan en op het water, zoals jachthavens en een strand;
- Autogebruik wordt beperkt door goed openbaar vervoer, aansluitend op stedelijke en regionale netwerken;
- Er dient actief aan natuurontwikkeling gedaan te worden aan de oevers en in het water;
- Bijzondere functies zijn: strand, haven, Diemerpark, begraafplaats.

Deze uitgangspunten kunnen niet geschonden worden bij het ontwikkelen van een maatregel voor het oplossen van de waterveiligheidsproblematiek rondom IJburg. In de volgende paragraaf wordt de achtergrondinformatie met betrekking tot een pijler van het onderzoek gepresenteerd; Waterveiligheid.

2.2 Waterveiligheid

Nederland kent een uitgebreid stelsel van primaire en regionale waterkeringen. Deze keringen zorgen voor veiligheid tegen hoogwater, rivieren of meren. Dit om aan de vitale functies te voldoen en zodoende de continuïteit van het dagelijks leven te garanderen. Beheerders van de belangrijkste Nederlandse waterkeringen beoordelen periodiek of de keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. Deze beoordeling is verplicht volgens de Waterwet. Dit jaar, 2017, is een nieuwe normering voor het beoordelen van keringen van kracht. In deze paragraaf wordt achtergrondinformatie gepresenteerd betreffende de nieuwe normering en de toepassingsmethodiek van deze nieuwe normering voor het onderzoek.

2.2.1 Implementatie nieuwe normering primaire waterkeringen

Vanaf januari 2017 gelden er nieuwe waterkeringsnormen voor dijken, dammen en duinen in Nederland. De oude waterveiligheidsnormen stammen uit de jaren zestig. Sinds de jaren zestig is het aantal inwoners en de economische waarden in overstroombare gebieden toegenomen. Deze effecten in combinatie met de nieuwe vergaarde kennis met betrekking tot klimaatverandering heeft ertoe geleid dat de waterveiligheidsnormen zijn herzien (Everdingen et al., 2017). Dit betekent dat vanaf 2017 landelijke beoordeling van primaire waterkeringen plaatsvindt op basis van het nieuwe waterveiligheidsbeleid, de nieuwe normen en het bijpassende, vernieuwde beoordelingsinstrumentarium (Rijksoverheid, 2017b).

De beoordeling van de primaire waterkeringen wordt uitgevoerd door de beheerders van de waterkeringen. Naar verwachting zijn in 2023 alle primaire keringen beoordeeld en is er een volledig beeld van de dijktrajecten die versterking nodig hebben. Afgekeurde dijktrajecten worden aangemeld voor het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Dit is een programma opgesteld voor de versterking van de primaire waterkeringen vanuit Rijksoverheid. Het streven is dat alle primaire waterkeringen in 2050 aan de nieuwe normen voldoen (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016).

2.2.2 Veiligheidsfilosofie nieuwe normering

Voor de nieuwe waterveiligheidsnormering zijn nieuwe doelen gehanteerd, namelijk: voor iedereen in Nederland achter de dijken en duinen geldt voor 2050 ten minste een beschermingsniveau van 10^{-5} (waarmee de kans op overlijden door een overstroming niet groter is dan 1:100.000 per jaar) (Kuijken, 2015). Daarbij wordt er meer bescherming geboden op plaatsen waar sprake kan zijn van:

- Grote groepen slachtoffers en/of;
- Grote economische schade en/of;
- Ernstige schade door uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur van nationaal belang.

De nieuwe normering is een risicobenadering: de normen hangen niet alleen af van de kans op overstroming maar ook van de gevolgen van de overstroming. Dit was in het verleden niet zo. Hierdoor spreken we van een verschuiving van overschrijdingskansbenadering van de oude normering naar een overstromingskansbenadering van de nieuwe normering. Hieronder volgt een beschrijving van het principe van beide typen normeringen.

Oude normering; overschrijdingskansbenadering

Voor 2017 werden in Nederland waterkeringen ontworpen op basis van een voorgeschreven overschrijdingskans: de kans dat een waterkering wordt belast door bepaalde waterstanden en golven. Voor IJburg werd overschrijdingskans 1/4.000 per jaar gehanteerd (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). Dit houdt in dat de waterkering geschikt moet zijn om alle combinaties van waterstanden en golven te weerstaan, die een kans van voorkomen hebben van gemiddeld eens per 4.000 jaar of vaker. Hiermee richtte deze normering zich enkel op de belasting, de sterkte van de kering speelde wel een rol, maar was niet expliciet opgenomen in het normgetal (Kok et al., 2016).

Nieuwe normering; overstromingskansbenadering

De nieuwe norm is uitgedrukt in een overstromingskans. De belangrijkste reden om over te gaan op een overstromingskans is dat deze kans de mate van bescherming tegen overstromingen goed uitdrukt. De overstromingskans hangt immers af van zowel van de hydraulische belastingen (waterstanden en golven) als de sterkte van de kering (hoogte, breedte, materiaalsoort, enzovoort). Bij de overstromingskans gaat het om de kans dat de belasting op de waterkering groter is dan de sterkte van de waterkering. Daarbij wordt gekeken naar kansen op falen door alle mogelijke faalmechanismen en naar het traject als geheel (Kok et al., 2016).

2.2.3 Normspecificatie Dijktraject 13A-IJburg

Volgens de oude normering behoort IJburg tot Dijkkringgebied 13A-IJburg. Dijkkringgebied 13A is een van de jongste dijkringen in Nederland en bestaat uit meerdere kunstmatig aangelegde eilanden met primaire waterkering. Met ingang van de nieuwe normering wordt er gesproken van dijktrajecten. Gebleken is dat de gevolgen van een overstroming sterk afhankelijk zijn van de plaats waar de kering bezwijkt. Daarom is ervoor gekozen om kortere stukken kering, dijktrajecten, als uitgangspunt te nemen voor de nieuwe normering. Het dijktraject waaronder de waterkeringen van IJburg waarschijnlijk worden opgenomen, is dijktraject 13-a (Kuijken, 2015). Dit is nog niet officieel geformaliseerd, maar gezien de eigenschappen van het de eilanden van fase 2 en bijbehorende waterkering zal deze niet afwijken van die van de andere eilanden en wordt in het onderzoek rekening gehouden met een signaleringswaarde van 1:300 per jaar en een toegewezen ondergrens van 1:100 per jaar (Rijksoverheid, 2017c). Dit zijn normen behorende tot de Waterwet. De signaleringswaarde is voor een dijktraject de overstromingskans per jaar waarvan overschrijding wordt gemeld aan onze Minister. In de Waterwet wordt voor elk dijktraject ook een ondergrens vastgesteld. De ondergrens is bedoeld als de overstromingskans waarop het dijktraject tenminste berekend moet zijn (Rijksoverheid, 2017c).

De signalerings- en ondergrenswaarden voor IJburg behoren tot de laagste categorie van de primaire keringen in Nederland. Dit komt doordat Dijkkringgebied 13A op meerdere manieren afwijkt van een 'standaard' dijkkring. Bij een standaard dijkkringgebied wordt het achterland, waarvan het maaiveld normaliter lager ligt dan de dijk zelf, beschermd tegen het buitenwater door een waterkering. Indien deze waterkering faalt, vindt er een overstroming plaats. Afhankelijk van waar de dijkkring faalt, overstroomt een gebied, wat leidt tot economische schade en mogelijk ook slachtoffers. Echter, de eilanden van IJburg zijn kunstmatig aangelegd door het opspuiten van grote hoeveelheden zand. Dit resulteert in een eiland met een maaiveld niveau tussen NAP+ 1,5 en NAP+ 3,0 meter (Hogendorp, 2013).

In Figuur 2-3 wordt het Dijktraject13A - IJburg getoond uitgaande van de huidige situatie. Te zien de bestaande eilanden van fase 1 met in groen aangegeven omringde dijk typerend als primaire waterkering.

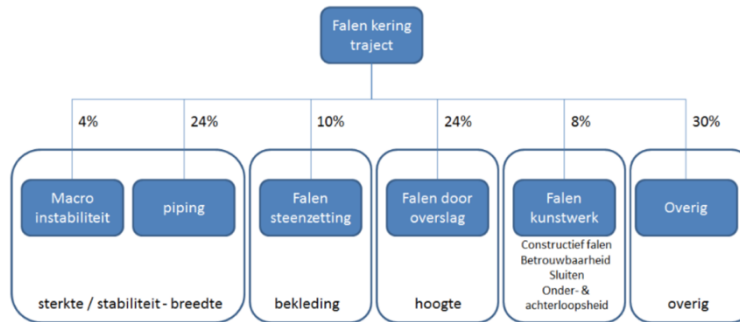


Figuur 2-3: Nieuwe normering- signaleringswaarde Dijktraject 13A – IJburg (Rijksoverheid, 2017a)

2.2.4 Faalkanseisen in de nieuwe normering

De nieuwe normering heeft een nieuwe benadering, namelijk: de eis wordt uitgedrukt in een maximaal toelaatbare overstromingskans per traject, en is niet langer sprake van uniforme eisen per dijkkring. De toelaatbare overstromingskans van het dijktraject, derhalve de normering, wordt via een voorgeschreven methode verdeeld over de toetssporen (faalkansbegroting) en daarna per toetsspoor over de bijhorende vakken door het in rekening brengen van een lengte-effect. Op deze manier wordt voor ieder toetsspoor een faalkanseis per vak (doorsnede of kunstwerk) afgeleid. (Rijksoverheid, 2017b).

Figuur 2-4 illustreert een faalkansbegroting: de verdeling van de overstromingskansnorm over verschillende faalmechanismen. Hierbij wordt geen rekening gehouden met correlaties tussen faalmechanismen. Een faalkansbegroting kan nooit leiden tot een onveilig ontwerp. Wanneer alle faalmechanismen voldoen aan de faalkanseisen die voor dat faalmechanisme uit de norm en faalkansbegroting zijn afgeleid, voldoet het ontwerp automatisch aan de overstromingskansnorm. Wel kan een verkeerde faalkansbegroting leiden tot een ondoelmatig ontwerp. De meest economische faalkansbegroting is in de meeste gevallen min of meer gelijk aan de opbouw van de huidige 'werkelijke' faalkansverdeling van de waterkering. Deze hangt af van de specifieke situatie binnen een dijktraject. In het Wettelijk Beoordelings Instrument 2017 (WBI2017) is een standaard faalkansbegroting opgesteld. De faalkansbegroting kan als startwaarde worden gebruikt bij het bepalen van de versterkingsopgave in de verkenningsfase.



Figuur 2-4: Standaard faalkansbegroting nieuwe normering

In de standaardfaalkansbegroting, Figuur 2-4, is 24% gereserveerd voor falen door overslag. Voor dit onderzoek is dit faalmechanisme relevant, andere faalmechanismen treden in mindere maten op of zijn niet van toepassing. Zoals voor faalmechanisme piping. Dit mechanisme kan niet optreden gezien de waterkering van IJburg bestaat uit een zanddijk op een ondoorlatend grondpakket met een hoger maaiveld als achterland. Ook bevat de dijk geen kunstwerk waardoor alle mechanismen behorend tot een kunstwerk niet worden behandeld. Verder wordt met het faalmechanisme overloop en overslag de minimaal benodigde hoogte van de waterkering bepaald. De kruinhoogte dient dusdanig te worden bepaald dat de overschrijdingskans van de rekenwaarde van het kritieke overslagdebiëet kleiner is dan de getalswaarde van de faalkanseis op doorsnedeniveau. De faalkanseis die per doorsnede aan het faalmechanisme overslag wordt gesteld is afhankelijk van de maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject per jaar (norm), de faalkansruimtefactor voor falen door golfoverslag en het lengte-effectfactor voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag. De kans op het falen van een dijk door golfoverslag moet uiteindelijk kleiner zijn dan de faalkanseis (Rijkswaterstaat, 2017a).

2.2.5 Wettelijk beoordelings- en ontwerpinstrumentarium 2014

Voor ontwerpen van primaire waterkeringen volgens de nieuwe veiligheidsfilosofie is een ontwerpinstrumentarium door de Minister ter beschikking gesteld. De definitieve versie van het instrumentarium is pas na 2017 klaar. Om nu al te kunnen ontwerpen is een tijdelijke versie gepubliceerd: Ontwerp Instrumentarium 2014 (OI2014) (Rijkswaterstaat, 2017a). Doel van dit tijdelijke instrumentarium is voorkomen dat projecten die nu al worden aangelegd bij de eerstvolgende beoordeling in 2023 worden afgekeurd. Daarom wordt vooruitlopend op de definitieve besluitvorming van de Minister al ontworpen conform de nieuwe norm.

Het OI2014 is officieel alleen van toepassing op ontwerpen in het kader van het HWBP die na januari 2014 zijn opgesteld. Omdat er voor de overige ontwerpen, buiten HWBP, geen specifieke handvatten bestaan, wordt het OI2014 ook voor de ontwerpen binnen de Gemeente Amsterdam gebruikt. Met dit ontwerpinstrumentarium is het mogelijk om op de hierboven genoemde ontwikkelingen te anticiperen en een robuust ontwerp te maken. In Hoofdstuk 3 Waterveiligheidsstatus IJburg, wordt de ontwerp instrumentarium toegepast op de casus. OI2014 maakt gebruik van de nieuwe normering maar met een semi-probabilistische toepassing. Echter, toekomstige beoordeling aan de hand van de nieuwe normering, WBI2017, is gebaseerd op een geheel probabilistische rekenmethode en verschilt van de rekenmethode voor zowel de oude benadering als de toepassing van OI2014. Voor de probabilistische rekenmethode van de nieuwe normering volgens WBI2017 wordt expliciet de faalkans van een traject berekend. Dat wil zeggen dat de kans dat de belasting zo groot is dat de kering er niet tegen bestand is. Hierbij moeten alle mogelijke gebeurtenissen die tot falen leiden als de totale kans op voorkomen van deze gebeurtenissen berekend worden (Diermanse, 2016).

2.2.6 Beoordelen primaire waterkering

In deze thesis wordt de waterkering in IJburg beoordeeld aan de hand van het bepalen van de vereiste kruinhoogte van de kering. Echter, er is een belangrijk verschil tussen het beoordelen van de kering en het ontwerpen van de waterkering. De volgende verschillen zijn (Rijkswaterstaat, 2017a):

- Het verschil tussen ontwerpen en beoordelen is dat de tijdshorizon anders is. Bij het ontwerpen moet verder in de toekomst worden gekeken. Er moet namelijk bij het ontwerpen van een waterkering rekening worden gehouden met onzekere aspecten als klimaatverandering, degradatie, veroudering en zettingen binnen de gekozen ontwerplevensduur. Dit betekent dat het optimale ontwerpprofiel vaak robuuster is dan het minimaal benodigde profiel in een beoordeling;
- Bij ontwerpen worden ook andere functies en aspecten dan alleen de waterveiligheid beschouwd;
- Bij beoordelen wordt uitgegaan van de bestaande kenmerken van de waterkering, terwijl bij ontwerpen de waterkering wordt vormgegeven.

In het onderzoek worden deze verschillen niet meegenomen. Er wordt enkel het waterveiligheidsaspect bestudeerd en de bestaande kenmerken van de waterkering wordt aangehouden waardoor de kering niet opnieuw vorm wordt gegeven. Dit wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 3: Waterveiligheidsstatus IJburg.

2.3 Ecologie

Voor het optimaal benutten van natuurlijke aspecten in het ontwerp is het belangrijk om inzicht te krijgen in het ecosysteem en de ecologische waarden van het gebied. Natuur benutten of creëren voor een oplossing biedt kansen. In de historie van het IJmeer-Markermeer wordt hieraan gerefereerd. Op dezelfde wijze is de toepassing voor IJburg. Bij nadere studie worden kernopgaven voor het gebied gepresenteerd evenals kenmerken voor het systeem: voedselweb, bedreigde plant- en diersoorten, waterkwaliteit, land-waterovergangen en verbinding ecotopen. Deze worden gepresenteerd in sub paragraaf 2, 3, 4, 5, 6 en 7. In de laatste sub paragraaf worden de natuurontwikkelingsprojecten rondom IJburg gepresenteerd.

2.3.1 Historie IJmeer-Markermeer

Middels de aanleg van de Houtribdijk tussen Lelystad en Enkhuizen ontstond in 1975 het IJmeer-Markermeer. De dijk verdeelde de oude Zuiderzee in twee compartimenten: een noordelijk deel en een zuidelijk deel, genaamd, IJsselmeer en IJmeer-Markermeer (Lenselink, 2001). Het IJmeer-Markermeer heeft met een omvang van 70.000 hectare; een waterdiepte van ongeveer 4 meter en met de gesloten verbinding naar de zee, het karakter van een meer.

De natuur in het IJmeer-Markermeer is in de afgelopen twintig jaar enorm achteruitgegaan. De achteruitgang van de natuurlijke waarden is een aanleiding geweest voor veel wetenschappelijk onderzoek. Tussen 2009 en 2013 is de Autonome Neergaande Trendstudie in het IJsselmeergebied uitgevoerd (Ruurd Noordhuis, Groot, Pires, & Maarse, 2014). De studie beschrijft de grootste veroorzakers van de neergaande trends, de haalbaarheid van de instandhoudingsdoelen en effectieve maatregelen om bepaalde niveaus van instandhoudingsdoelen te kunnen bereiken. De studie concludeert dat voor de meeste doelsoorten de instandhoudingsdoelen niet haalbaar zijn zonder ecologische maatregelen. Deze belangrijke conclusie geeft de noodzaak aan voor de ecologische ontwikkeling van het IJmeer-Markermeer. Er zijn meerdere oorzaken voor de achteruitgang van de ecologische waarden van het IJmeer-Markermeer. De drie voornaamste zijn:

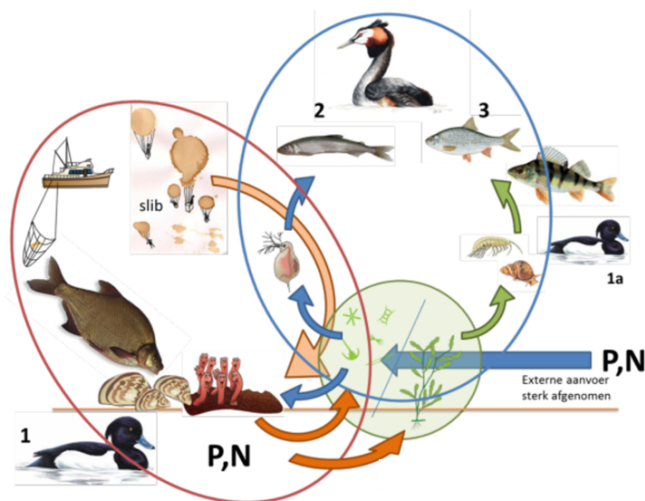
- Afname aanvoer van nutriënten in het systeem;
- Beperkte afvoer van slib uit systeem;
- Gebrek aan natuurlijke oevers en ondiepten.

In de volgende paragrafen wordt verder ingegaan op deze aspecten.

2.3.2 Voedselweb

Het IJmeer-Markermeer is door de komst van de Houtribdijk en de geconstrueerde dijken niet meer verbonden met de zee of een rivier. Het gevolg is een afname van de aanvoer van nutriënten, ofwel, voedingstoffen (Ruurd Noordhuis et al., 2014). In een laagland omgeving heeft een gezond ondiep meer een uitgebreid voedselweb met interactie tussen veel verschillende soorten voedselketens. Voor het open water van het IJmeer worden grofweg drie ketens onderscheiden, zie Figuur 2-5 (NMIJ, 2015):

1. Algen – mosselen – mosselelers
2. Algen – watervlooien – vis – viseters
3. Waterplanten – planteters



Figuur 2-5: Voedselketens IJmeer-Markmeer (NMIJ, 2015)

1. Algen – mosselen – mosseleeters

In het water vormen zowel algen, ofwel fytoplankton, als waterplanten de basis van het voedselweb. Algen hebben voedingsstoffen als fosfaat en nitraat in combinatie met licht nodig om te groeien. Een overmaat aan voedingsstoffen bevordert de groei van algen totdat er geen licht meer reikt. In het IJmeer is daarentegen een verminderde aanvoer van voedingsstoffen aanwezig. In periode met veel wind wordt er veel slib opgewerveld van de bodem en zweeft hierdoor in de waterkolom. Er is te weinig doorzicht waardoor de algen te weinig licht krijgen en de productie wordt geremd. Ook kunnen zwevende slibdeeltjes zich hechten aan algen, waardoor er vlokken ontstaan. Een deel van die vlokken wordt te groot om door mosselen of watervlooien te kunnen worden gegeten (Rijksoverheid, 2015a).

In de eerste keten worden de algen gegeten door de mosselen. De Driehoeksmossel is het inheemse soort in het IJsselmeer en randmeren. Echter, heeft de Driehoeksmossel sinds 2006 concurrentie gekregen van het exotische diersoort Quaggamossel, waarbij de Driehoeksmossel is verdrongen (van Herpen, den Held, Buskens, & de Rooij, 2012). De Quagga mossel wordt gegeten door mossel etende watervogels, ook wel bodemfaunaeters genoemd. De watervogels zijn onder te verdelen in drie categorieën: viseters, bodemfauna eters en planteters. De eerste voedselketen betreft de bodemfaunaeters. Dit zijn de Tafelleend, Kuifeend, Toppereend, Brilduiker en Meerkoet (R. Noordhuis, 2014). Meer informatie over deze watervogels wordt gepresenteerd in de volgende paragraaf Bedreigde diersoorten.

2. Algen – watervlooien – vis - viseters

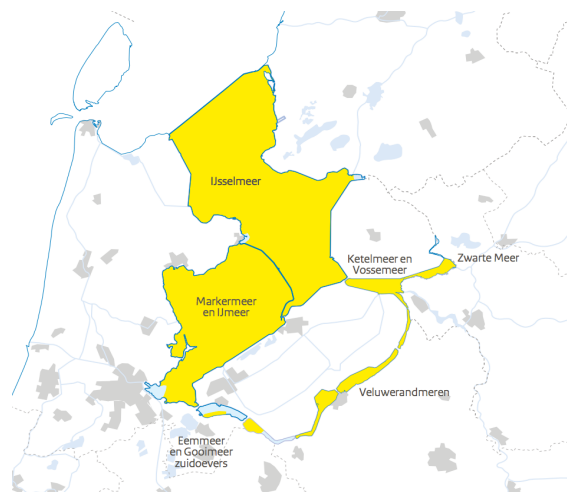
De tweede voedselketen bestaat uit algen, watervlooien, vis en visetende watervogels. Algen worden gegeten door watervlooien. De vlooien worden door vis gegeten. De laatste schakel van de keten zijn de visetende watervogels. De viseters in het gebied zijn de Lepelaar, Fuut, Aalscholver, Nonnetje, Grote Zaagbek, Middelste Zaagbek, Reuzenster, Visdief en de Zwarte Stern (R. Noordhuis, 2014).

3. Waterplanten - planteneters

In ondieper water concurreren waterplanten met algen voor voedingsstoffen. In de derde voedselketen vormen planten de basis van de keten. Twee typen waterplanten zijn aanwezig in het ecologisch systeem van het IJmeer: Kranswieren en Fonteinkruiden. De waterplanten worden gegeten door watervogels, ook wel planteneters genoemd. De planteneters, aanwezig in het IJmeer zijn: Kleine Zwaan, Kolgans, Grauwe gans, Brandgans, Smient en Krakeend (R. Noordhuis, 2014).

2.3.3 Bedreigde dier- en plantensoorten

Het IJmeer-Markermeer is aangewezen als een Natura 2000 gebied. Natura 2000 is een Europees netwerk van beschermde natuurgebieden, op het grondgebied van de lidstaten van de Europese Unie, en richt zich op het behoud en de ontwikkeling van gebieden. Natura 2000 beschermt gebieden vanuit de Europese Vogel- en Habitatrichtlijn. Volgens deze richtlijn moeten lidstaten specifieke diersoorten en hun natuurlijke leefomgeving, ofwel habitat, beschermen om de biodiversiteit te behouden (Kiwa Water Research & ECG, 2007). Figuur 2-6 geeft het Natura-2000 gebied IJmeer-Markermeer weer. Daarnaast zijn in het figuur de omgeven gebieden gearceerd met dezelfde Natura 2000 status. Natura2000 heeft per soort en habitatype een oordeel gegeven over de landelijke staat van instandhouding. Op grond van deze staat en het relatief belang van soorten en habitattypen zijn de belangrijkste verbeteropgaven en doelen op landelijk niveau vastgesteld gespecificeerd voor meren en moerassen:



Figuur 2-6: Natura 2000 gebieden

- Behoud en herstel van samenhang tussen slaapplekken en foerageergebieden in het bijzonder voor grasetende watervogels en meer vleermuizen.

Dit landelijk doel vormt de kaders voor de formulering van instandhoudingdoelen op gebiedsniveau. De gebiedsdoelen zijn geformuleerd in termen van behoud, verbetering van de kwaliteit en uitbreiding verspreiding. De kernopgaven specifiek voor IJmeer-Markermeer zijn (Zwart, 2008):

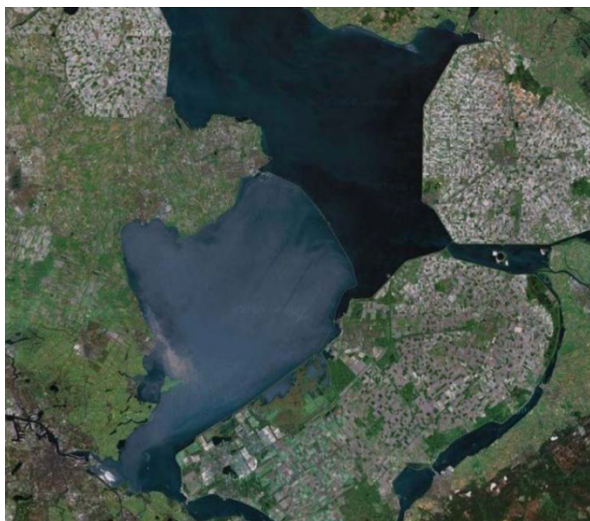
- Evenwichtig systeem: Nastreven van een meer evenwichtig systeem met goede waterkwaliteit voor waterplanten, vissen en schelpdieren (met name in kwanswierwateren en meren krabbescheer en fonteinkruident) mede ten behoeve van vogels zoals kleine zwaan, tafeleend, kuifeend en nonnetje.
- Rui- en rustplaatsen: Voldoende open water met ruiplaatsen en rustgebieden voor watervogels zoals fuut, ganzen, slobbeend en kuifeend.
- Moerasranden: Moerasvorming aan randen van meren voor land-water interactie, paaigebied vis, noordse woelmuis en voor moerasvogels als roerdomp en grote karekiet.

Figuur 2-7 geeft de instandhoudingsdoelstellingen weer voor habitattypen, habitatsoorten, broedvogels en niet-broedvogels weer. Hierin wordt in de eerste kolom de Landelijke Staat van Instandhouding gegeven (SVI; -- zeer ongunstig, - matig ongunstig, + gunstig), de tweede kolom doelstelling oppervlaktewater, derde kolom doelstelling kwaliteit en vierde kolom de doelstelling populatie. Gegeven is (door middel van het =-teken in de tabel) dat voor alle typen een behoudsdoelstelling geldt, met urgentie voor Tafeleend, Toppereend, Grote Zaagbek en Zwarte Stern.

Instandhoudingsdoelstellingen		SVI Landelijk	Doelst. Opp.vl.	Doelst. Kwal.	Doelst. Pop.
Habitattypen					
H3140	Kranswierwateren	--	=	=	
Habitatsoorten					
H1163	Rivieronderpad	-	=	=	=
H1318	Meervleermuis	-	=	=	=
Broedvogels					
A017	Aalscholver		=	=	
A193	Visdief	-	=	=	
Niet-broedvogels					
A005	Fuut	-	=	=	
A017	Aalscholver	+	=	=	
A034	Lepelaar	+	=	=	
A043	Grauwe Gans	+	=	=	
A045	Brandgans	+	=	=	
A050	Smient	+	=	=	
A051	Krakeend	+	=	=	
A056	Slobbeend	+	=	=	
A058	Krooneend	-	=	=	
A059	Tafeleend	--	=	=	
A061	Kuifeend	-	=	=	
A062	Toppereend	--	=	=	
A067	Brilduiker	+	=	=	
A068	Nonnetje	-	=	=	
A070	Grote Zaagbek	--	=	=	
A125	Meerkoet	-	=	=	
A177	Dwergmeeuw	-	=	=	
A197	Zwarte Stern	--	=	=	

Figuur 2-7: Instandhoudingsdoelstellingen Natura-2000 IJmeer-Markermeer ("Essentietabel IJmeer-Markermeer," 2000)

2.3.4 Waterkwaliteit



Figuur 2-8: Troebel water IJmeer-Markermeer

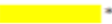
De aanleg van de Houtribdijk heeft ervoor gezorgd dat slib beperkt kan worden afgevoerd vanuit het IJmeer-Markermeer. Slib is fijn materiaal dat door waterbeweging en activiteiten van het bodemleven erodeert uit de kleipakketten op de bodem. Voor de aanleg van de Houtribdijk werd slib door stroming afgevoerd naar diepere delen van het IJsselmeer. Vandaag de dag blijft slib als een deken op de bodem van het IJmeer-Markermeer liggen. In het Markermeer is de slibbeweging van het westelijk deel naar het oostelijk deel door de grotere diepte aan de oostkant van het meer. Slib heeft het karakter dat het consolideert. Echter, dit is een langzaam proces en wordt door golfslag en wind snel weer opgewerveld. Slib wat opwoeld van de bodem maakt dat het water troebel wordt. Met als gevolg een laag doorzicht en beïnvloeding van de waterkwaliteit van het systeem. Dit is te zien in Figuur 2-8, waar het sterke verschil in kleur van IJmeer-Markermeer ten opzichte van het IJsselmeer te zien is.

Het slibmateriaal belemmert niet alleen het doorzicht van het meer. Ook de interactie tussen algen en slibdeeltjes wordt beïnvloed. Er ontstaat vlokvorming gevolgd door sedimentatie. Dit proces speelt een rol bij de secundaire productie in het voedselweb. Wat resulteert in een lagere biomassa van met name zoöplankton, vis en mosselen (Ruurd Noordhuis et al., 2014).

Vanuit het ecologisch perspectief is goede waterkwaliteit belangrijk en de reden dat sinds 2000 de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) van kracht is. In het KRW staan afspraken die ervoor moeten zorgen dat uiterlijk in 2027 het water in alle Europese landen voldoende schoon (chemisch op orde) en gezond (ecologisch in evenwicht) is (Rijkswaterstaat, 2017b). Het Markermeer-IJmeer is voor de KRW een formeel begreemd waterlichaam en gekarakteriseerd als: grote diepe gebufferde meren. Het heeft de status 'sterk veranderd' gekregen. Er zijn ecologische doelen vastgesteld voor het IJmeer-Markermeer. De doelen zijn gespecificeerd in vier verschillende biologische kwaliteit elementen en zijn de volgende:

- Macrofauna;
- Overige waterflora;
- Vis;
- Fytoplankton.

Deze kwaliteitselementen en de bijhorende status zijn gegeven in Figuur 2-9 weergegeven. Per kwaliteitselement wordt een 'GEP' toegewezen. Dit staat voor Goed Ecologisch Potentieel en geeft een beoordeling weer op een schaal van 0 tot 1. Figuur 2-9 geeft de beoordeling van de toestand in 2009, de toestand in 2010-2015 en de prognose voor 2021 weer. Hiervoor geldt de kleur groen is goed, geel is matig en oranje is ontoereikend. De informatie in de tabel geeft weer dat ecologisch potentieel voor overige waterflora en fytoplankton matig respectievelijk ontoereikend is.

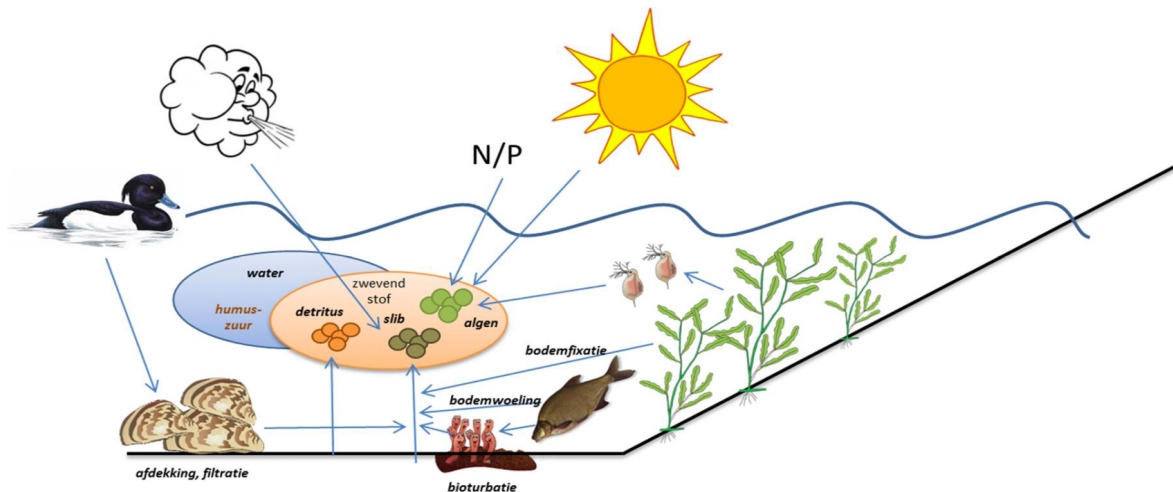
Biologie				
Beoordeling periode 2009-2015				
	GEP	Toestand 2009	Toestand 2010-2015	Prognose toestand 2021
Macrofauna (EKR)	≥ 0,42	 *		
Overige waterflora (EKR)	≥ 0,56	 *	 *	
Vis (EKR)	≥ 0,48	 *		
Fytoplankton (EKR)	≥ 0,58	 *		

Figuur 2-9: Kwaliteitselementen IJmeer-Markermeer KRW

Beïnvloedbare factoren voor doorzicht in het IJmeer-Markermeer

Een belangrijke parameter om de kwaliteit van oppervlaktewater te karakteriseren is doorzicht. Dit geldt zeker voor het IJmeer-Markermeer door het bekend troebel karakter. Figuur 2-10 illustreert factoren, parameters en processen die invloed hebben op doorzicht in het Markermeer. De geïllustreerde factoren, parameters en processen kunnen worden onderverdeeld in fysische, chemische en biologische factoren respectievelijk achtereenvolgende alinea's (Ruurd Noordhuis & Blaas, 2016).

De productie (of eigenlijk de concentraties en biomassa's van fytoplankton tot en met vis) in het Markermeer is lager dan in het IJsselmeer bij dezelfde fosfor gehalten, dit is door interactie tussen zwevend slib en algen (Knoben et al., 2015). Figuur 2-11 geeft een causaal relatie diagram weer voor de fysische, chemische en biologische factoren. Onderstaand worden deze verbanden toegelicht.



Figuur 2-10: Factoren, parameters en processen invloed op doorzicht (Ruurd Noordhuis & Blaas, 2016)

Fysische factoren

De belangrijkste fysische parameter voor de mate van doorzicht in het IJmeer-Markermeer is **wind**. Wind drijft water in beweging en zorgt voor opwerveling van het slib sediment. De samenstelling van het slib is hierbij van belang voor de mate van opwerveld materiaal. Een ander sleutelproces waarbij de samenstelling van slib van belang is heet vlokvorming. Algen, welke behoren tot fytoplankton hebben de neiging om in de waterkolom van opgewervelde kleideeltjes vlokken te vormen en beïnvloedt het doorzicht. Vlokvorming is een belangrijk proces met betrekking tot de waterkwaliteit van het Markermeer.

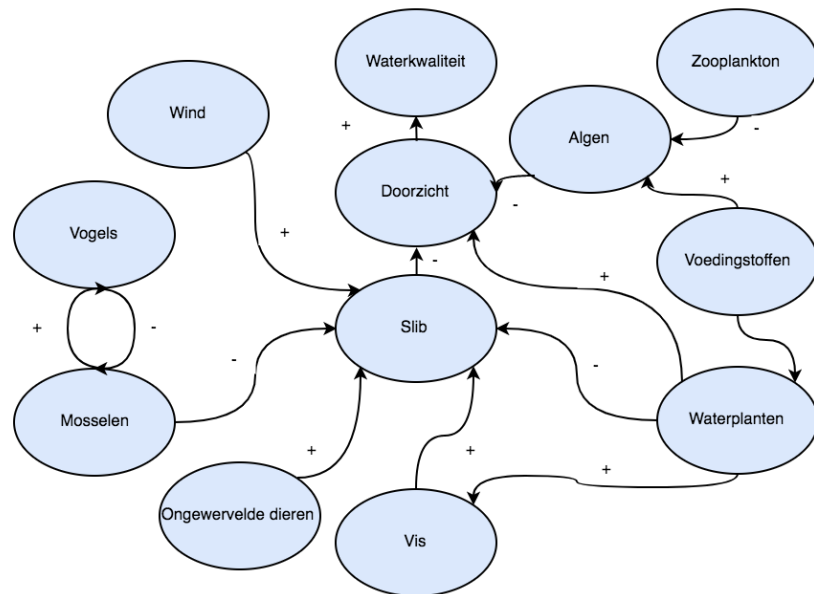
Chemische factoren

Algen en planten gebruiken een groot aantal verschillende **voedingsstoffen**. De belangrijkste voor het lichtklimaat zijn de voedingsstoffen die de totale algenproductie kunnen beperken, met name fosfaat en stikstof. Doorzicht wordt beperkt via algenconcentraties en via het voorkomen van waterplanten.

Biologische factoren

Verschiedende dier- en plantengroepen hebben uiteenlopend effect op de waterkwaliteit in het IJmeer-Markermeer, direct of indirect. De dier- en plantengroepen zijn al aan bod gekomen in onder andere paragraaf Voedselweb. In deze alinea wordt de invloed van de dier- en plantensoorten op de waterkwaliteit beschreven en geïllustreerd in Figuur 2-10. **Fytoplankton** heeft een negatief effect op het doorzicht. Dit doordat ze licht kunnen absorberen en vlokvorming met slibdeeltjes plaatsvindt. Anders dan fytoplankton heeft **zoöplankton** een positief effect op doorzicht. Door het consumeren van algen neemt het doorzicht toe. Zoals al eerder beschreven hebben **mosselen**, de Quaggamossel voor het IJmeer-Markermeer, een belangrijk effect op de helderheid van het water. De mosselen kunnen het doorzicht vergroten enerzijds door resuspensie van slib te remmen door hun aanwezigheid, anderzijds door zwevend stof uit het water te filteren en deels te verteren, en door de vorming van feces. Terwijl de Quaggamossel een positieve werking hebben op de helderheid van het water heeft overige **macrofauna** juist een negatieve werking. Ongewervelden gravende organismen zoals wormen en muggenlarven zorgen voor erosie van de kleibodem. Hierdoor komt nieuw slib beschikbaar in het systeem. **Waterplanten** houden sediment vast waardoor het minder snel opwervelt. Ze concurreren met fytoplankton om voedingsstoffen en bieden een schuilplaats aan filteraars zoals watervlooien. Het effect van waterplanten op het doorzicht hangt vooral af van de dichtheid van de vegetaties. Het effect van **vis** op de helderheid is gering. Vissen als Brasem en de Karper die de bodem omwoelt op zoek naar voedsel, heeft een negatief effect op de

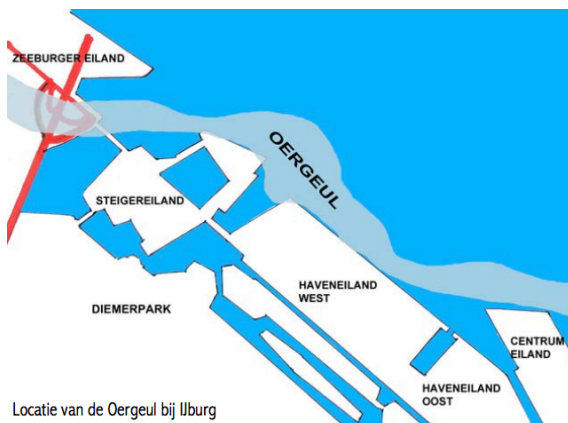
helderheid. **Vogels** consumeren mosselen, welke een belangrijke rol speelt in het watersysteem. Hierdoor heeft dit indirect een negatief effect op doorzicht.



Figuur 2-11: Causaal relatie-diagram met fysische, chemische en biologische factoren voor waterkwaliteit

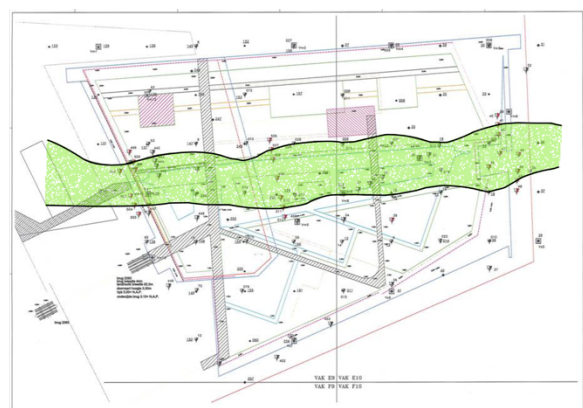
2.3.5 Oergeul IJburg

Over een strook met een breedte van circa 200 tot 300 meter wordt een uitloper van de stroomgeul van het Oer-IJ aangetroffen, de Oergeul. Hier wordt onder kleiige sliedlagen tot een diepte van circa NAP - 10,0 m tot NAP - 15,0 m matig slappe veen houdende klei met enige zandlaagjes aangetroffen (Monen, 2017). De globale contouren van de stroomgeul van het Oer-IJ zijn weergegeven in Figuur 2-12 en Figuur 2-13.



Locatie van de Oergeul bij IJburg

Figuur 2-12: Locatie van Oergeul bij IJburg



Figuur 2-13: Locatie van Oergeul in Middeneiland-IJburg

In de stroomgeul van het Oer-IJ ontbreekt de eerste zandlaag geheel of gedeeltelijk. Voor IJburg eerste fase is bepaald dat land niet op Oergeul mocht worden aangelegd en zo bepaalde de geologie de locatie en vorm van de eilanden (Koornstra & de Mol, 2015). Echter, voor de tweede fase loopt de Oergeul dwars door Middeneiland heen. Met behulp van extra zandaanvulling en verstevigingsmaatregelen kan dit eiland toch op de klei komen te liggen.

Naast de bouwtechnische randvoorwaarden heeft het slib materiaal in Oergeul ook effect op de waterkwaliteit. Zoals beschreven wervelt slib gemakkelijk van de bodem waarna het in de waterkolom zweeft. Met de aanwezigheid van de Oergeul bevat het plangebied een overmaat aan slibachtig materiaal.

2.3.6 Land-waterovergangen

Geleidelijke overgangen tussen land en water ontbreken in het Markermeer-IJmeer, maar zijn van nature wel de gebieden met grote natuurwaarde (van Herpen et al., 2012). Dit heeft het effect dat er steeds minder vissen, waterplanten en schelpdieren voorkomen. Voor de watervogels die afhankelijk zijn van deze voedingsbronnen ontstaat een voedselgebrek. Om de ernst van de situatie aan te geven is de stand van populatie Tafeleend, Kuifeend en Brilduiker sinds de jaren tachtig met meer dan 75% achteruitgegaan (Knoben et al., 2015).

Om optimaal te kunnen functioneren is voor het ecosysteem van het Markermeer een functionele samenhang met de omgeving nodig. Gradiënten, zoals geleidelijke overgangen van land naar water zijn daarbij van grote betekenis. Deze gradiënten zijn niet aanwezig wanneer waterkeringen met stortsteen zijn bekleed. Dit is het huidige ontwerp van het kritieke deel van IJburg Haveneiland: gezien de harde kering van stortsteen.

2.3.7 Verbinding ecotopen



Figuur 2-14: Natuurnetwerk Nederland plangebied IJburg (donkergroen: Ecologische Structuur, groen: Hoofdgroenstructuur, lichtgroen: Nationaal Natuur Netwerk)

Het op elkaar laten aansluiten van natuurgebieden, bevordert biodiversiteit en vergroot de kansen op het voortbestaan van soorten. Ook biedt het ruimte voor de spontane terugkeer van dieren die hier van oorsprong voorkwamen. Dieren kunnen profiteren van verbindingen met name tussen ondiepe delen en nabijgelegen natuurgebieden. Te denken valt aan het verbinden van foerageer- en rustfuncties voor vogels, het bereikbaar maken van de nieuw aangelegde habitats voor kleine zoogdieren en reptielen en amfibieën (van Herpen et al., 2012). Sinds 2014 bestaat het Natuur Netwerk Nederland. Dit bestaat uit bestaande natuurgebieden, gebieden waar nieuwe natuur wordt aangelegd, landbouwgebieden, wateren en ook alle Natura2000 gebieden. Figuur 2-14 toont het Natuur Netwerk Nederland. Te zien is het plangebied IJburg, wat zich bevindt te midden van het Nationaal Natuur Netwerk. Om dit netwerk met elkaar te verbinden is een Ecologische Structuur bepaald dit is aangegeven met donkergroen Figuur 2-14 (Gemeente Amsterdam, 2017a). In de volgende paragraaf wordt verder inhoud gegeven aan de Ecologische Structuur en het Natuur Netwerk door middel van het benoemen en beschrijven van de natuurontwikkelingsprojecten rondom IJburg.

2.3.8 Natuurontwikkelingsprojecten IJburg

Zoals eerder beschreven in paragraaf IJburg, was er veel protest vanuit natuurliefhebbers voor de komst van IJburg. Het uitvoeren van IJburg werd door natuurorganisaties als een ecologische ramp gezien met onherstelbare effecten. Na een felle discussie en een referendum viel het besluit en de bouw van IJburg kon doorgaan mits passende natuurcompensatie werd uitgevoerd. Hiervoor werd opnieuw nagedacht over hoe het vergroten van de natuurwaarden kan samengaan met andere ruimtelijke ingrepen. Het motto van het project werd verschoven van IJburg in het IJmeer naar: "IJburg te gast in het IJmeer". Om de kwaliteit van het gebied te behouden werden de volgende doelstellingen opgesteld (Provoost, Roovers, van Bemmelen, & Denters, 2012):

- Structurele verandering van de waterkwaliteit; door lagere slibconcentratie en meer instroom van voedingsstoffen waardoor een vermeerdering van het voedselaanbod voor watervogels ontstaat en de kuifeend, tafeleend, brilduiker en nonnetje het steeds meer toenemen;
- Ruimte voor moerasvogels; oeverzones en binnendijkse foerageergebieden met kwaliteit.

Door nieuwe impulsen in de vorm van natuurontwikkelingsprojecten werd het gebied vitaal en krachtig genoeg de stedelijke ontwikkelingen op te vangen. De natuurcompensatie bestond uit drie projecten: aanleg van mosselbanken, aanleg van Natuureiland en invulling geven aan Hoeckelingsdam. Figuur 2-16 illustreert deze natuurontwikkelingsprojecten in het gebied inclusief de natuurcompensatie projecten. Tabel 2-1 geeft alle genummerd weer, waarbij natuurcompensatie projecten genummerd zijn aangegeven met 7, 8 en 9. Deze worden vervolgens hier beschreven.

7 Natuureiland

Het natuureiland is ontstaan nadat er in de oude strekdam noordelijk van IJburg een opening kwam voor de scheepvaart. Tegen de kop van het geïsoleerde deel van de dam werd zand aangebracht. Het eiland is sindsdien het domein van vele watervogels. Rust is essentieel, het eiland trekt hier natuur, geen mensen en is niet toegankelijk voor de mens. Figuur 2-15 geeft het Natuureiland vanuit noordelijk oogpunt weer.



Figuur 2-15: Natuureiland

8 Hoeckelingsdam

Hoeckelingsdam is een luwtegebied tussen dam en dijk. Het gebied heeft een grote aantrekkingskracht voor vogels, als broedgebied, als slaapplaats en om er voedsel te zoeken. Hoeckelingsdam is in 2005 aangelegd.

9 Mosselbanken

In 2008 is 28 hectare steenachtig substraat op de bodem van de IJburgbaai voor Haveneiland aangebracht voor aangroei van mosselen. Mosselen zijn om twee redenen belangrijk: ze filteren het water om aan voedsel te komen en hebben daardoor effect op de helderheid en ze dienen als voedsel voor watervogels en vis. In het IJmeer worden de mosselen door vijf verschillende typen watervogels als voedingsbron gebruikt. Dit zijn de topper, brilduiker, kuifeend, tafeleend en de meerkoet. De topper en de brilduiker zijn twee eenden soorten die alleen in de wintermaanden aanwezig zijn, de overige drie soorten zijn jaar rond aanwezig. De mosselbanken hebben zich bewezen als zeer effectief en voor verdere landwinning voor IJburg (fase 2) worden de aanwezige mosselbanken als wettelijke voorwaarde gesteld (Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam, 2017).



Figuur 2-16 Natuurontwikkelingsprojecten IJburg (Timar, 2014)

Tabel 2-1 Natuurontwikkelingsprojecten IJburg (Timar, 2014)

	Projectnaam	Wat	Voor
1.	Zuidelijke IJmeerkust (2013)	800 meter lange luwtedam	Breed spectrum van riet- en watervogels, kranswieren, moerasbos, vissen, reptielen, vleermuis, recreanten (kano, fiets, wandelen)
2.	Red de ringslang (2006)	Inrichten moeraszones en broeihopen	Ringslang
3.	Ecologische Verbindingszone Bovendiep (2012)	Aanpassen oevers, gordels van oever- waterriet moeras	en Riet- en moerasvogels, ringslang, waterspitsmuis, rivierdonderpad
4.	Ecozone Zeeburgereiland (2014)	Aanpassen oevers, gordels van oever- waterriet moeras	en Riet- en moerasvogels, ringslang, waterspitsmuis, rivierdonderpad
5.	Van IJ tot Gauw	20 kleine en grotere projecten, variërend van paddenpoelen tot ecopassages, muurtjes, overwinterplekken, hagen en natuuroevers	Reptielen, vlinders, ijsvogel, amfibieën, muizen, recreanten (kano, fiets, wandelen) Polder
6.	Polder IJdoorn (2014)	Uitkopen boeren, selectief maaien, natuurlijker ontwatering, afscherming tegen vossen	Steltlopers, eenden en ganzen, grutto's en andere dotterbloemen, bijen, ringslang, recreanten (wandelen)
7.	Natuureiland (2012)	Opspuiten zandeiland (2 hectare) met ruw stortstenen vooroevers (tegen recreanten)	Uiteenlopende vogels, waaronder stern, blauwborst en karekiet
8.	Hoeckelingsdam (2005)	Zanddam van 1600 x 100 meter, luwtegebied tussen dam en dijk	Watervogels, eenden, sterns en meeuwen
9.	Mosselbanken (2008)	28 hectare steenachtig substraat op de bodem voor aangroei driehoeksmosselen	Driehoeksmosselen, uiteenlopende eenden soorten, meerkoet
10.	Herinrichting Diemervijfhoek (2010)	Ondiepe waterpartijen gegraven, deels ontoegankelijk gemaakt voor recreanten	Ringslangen en kikkers Diemerpark
11.	Diemerpark en Amsterdam-Sanering Rijnkanaal (2001)	voormalige chemische stortplaats, realisatie Diemerpark en inrichting Ecologische verbindingszone.	Breed spectrum van ringslang tot recreant

2.4 Recreatie

Een kwalitatief goed ingerichte openbare ruimte levert een belangrijke bijdrage aan het woongenot. Doordat IJburg bestaat uit een eilandenrijk in het IJmeer met hoge natuurwaarden van het meer zelf en de omliggende natuur met hoge natuurwaarden, staan groen en water hoog op de agenda. Dit is ook gepresenteerd in de Structuurvisie 2040. In de Structuurvisie 2040 staat de ruimtelijke ontwikkeling van Amsterdam die Gemeente Amsterdam voor ogen heeft. Gemeente Amsterdam heeft als doel groen en water aantrekkelijk te maken om het gebruik hiervan te laten toenemen. Dit bevordert het welzijn van de bewoners, waardoor bewoners en bedrijven zich willen vestigen in IJburg. Het aantrekkelijk maken van water en groen geeft dus een positieve stimulans en hierdoor hebben recreatieve voorzieningen dus ook een economisch belang voor de stad (Zanen et al., 2011). Uit de Structuurvisie 2040 is de Watervisie Amsterdam 2040 ontstaan en geeft een ruimtelijk- economisch perspectief op het gebruik van water en oevers in Amsterdam op de lange termijn (2040) met een aantal speerpunten voor de korte termijn (2018). De koers uitgezet in de Watervisie 2040 heeft de volgende hoofdrichtlijnen (Berents & Straver, 2015):

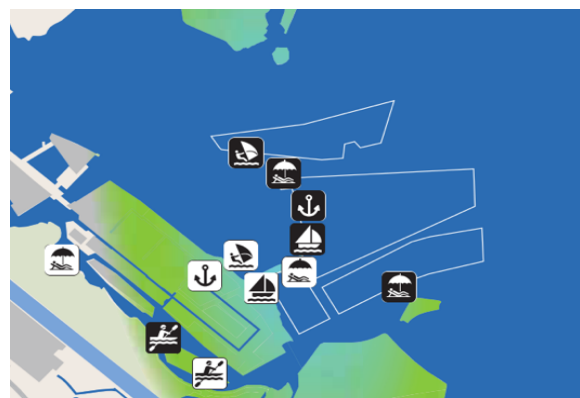
- Water toegankelijk en beleefbaar maken en activeren;
- Groei door spreiden van recreatie en toerisme;
- Meer dynamiek in het gebruik van het.

Deze informatie is van belang voor het ontwerp van een maatregel voor waterveiligheid doordat in het onderzoek kansen kunnen worden gevonden om hoofdrichtlijnen te ondersteunen. Onder recreatie wordt alle vormen van vrijetijdsbesteding verstaan en betreffen alle activiteiten die kunnen worden gedaan naast de dagelijkse verplichtingen. De geografische ligging van IJburg aangrenzend aan het IJmeer is kansrijk voor watersport, toeristische verbindingen via vaarnetwerk en openbare ruimte.

2.4.1 Watersport en recreatie

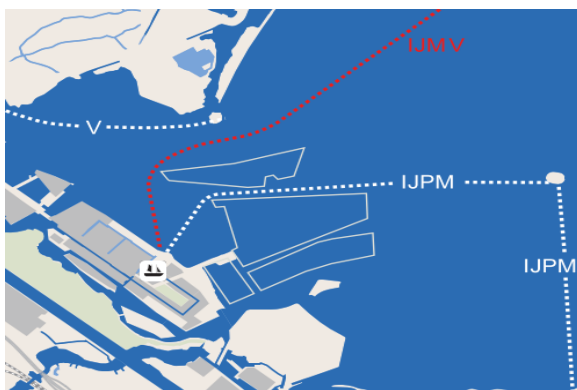
Figuur 2-17 geeft het systeemgebied IJburg weer met de huidige en beoogde recreatieve voorzieningen. Deze zijn als volgt:

- Jachthaven, zie Figuur 2-21;
- Kanogebied;
- Roeigebied;
- Stedelijk watersportcentrum zie Figuur 2-22;
- Surfplek (kite- en windsurfen);
- Recreatiestrand;
- Zwemplek in natuurwater.



Figuur 2-17: Recreatieve voorzieningen IJburg

2.4.2 Vaarnetwerk passagiersvaart en cruisevaart



Figuur 2-18: Vaarnetwerk passagiers- en cruisevaart

Figuur 2-18 geeft het systeemgebied van IJburg weer met de daarin toeristische vaarroutes voor passagiersvaart en cruisevaart. Deze zijn als volgt:

- Vuurtoreneiland veer (V);
- IJburg-Pampus-Muiden veer (IJPM);
- In de toekomst verwachte veerboot tussen IJburg-Marken-Volendam (IJMV).

2.4.3 Openbare ruimte en recreatie

Tot slot beschikt IJburg over significant oppervlak open ruimte aangrenzend aan water voor recreatiemogelijkheden. Volgende voorzieningen kenmerken de recreatie in IJburg:

- Openbare oevers met geïntegreerde wandel- fietsroutes, weergegeven in Figuur 2-20;
- Stadsstrand en horeca Blijburg, weergegeven in Figuur 2-19.



Figuur 2-19: Stadstrand en horeca Blijburg



Figuur 2-20: Geïntegreerd wandel- en fietsroute op dijk - Bert Haanstrakade



Figuur 2-21: Jachthaven IJburg



Figuur 2-22: Zeilschool IJburg

3

Waterveiligheidsstatus IJburg

In dit Hoofdstuk wordt de invloed van de aanwezigheid van het laatste eiland in de totale eilanden configuratie van IJburg Fase 1 en 2 onderzocht. Gegeven is dat het onzeker is wanneer het laatste eiland van Fase 2, het Buiteneiland, wordt aangelegd. Momenteel is door Gemeente Amsterdam gepland om het eerste deel van Middeneiland, circa 82 hectare land, tussen de 2.500 en 3.000 woningen te realiseren in de periode 2021-2027 (T. Post & Monen, 2017). Afhankelijk van marktontwikkelingen en de vraag naar woningen wordt de voorbereiding op de volgende tranches landmaken gestart voor het tweede deel van Middeneiland. Bij een volledig voltooid Middeneiland, worden plannen met betrekking tot landmaken voor Buiteneiland overwogen. Vast staat dat komende decennia Buiteneiland niet wordt aangelegd.

Het niet realiseren van Buiteneiland heeft als gevolg dat een deel van reeds aangelegd IJburg in de toekomst in direct contact staat met golfaanval van open buitenwater IJmeer-Markermeer. Belangrijk is om inzicht te genereren in welke mate het eiland Buiteneiland effect heeft op de waterveiligheidsstatus van reeds aangelegd IJburg. Het tweede belangrijke gegeven is de veranderende normering voor primaire waterkeringen in Nederland. De mate van invloed van dit effect dient beoordeeld te worden. Het is van belang dat de waterveiligheidsstatus van IJburg wordt beoordeeld en de effecten van ontwikkelingen worden onderzocht. Ook is het van belang dat de mate van dijkversterking wordt bestudeerd en zo nodig aanpassingen met betrekking tot het huidige dijkprofiel wordt ontworpen. Dit geeft inzicht in de mate van invloed van de ontwikkelingen en is tevens een uitgangspunt voor het ontwerpen van alternatieven aangaande BwN-methodologie in verder onderzoek.

In de eerste paragraaf worden de hydraulische randvoorwaarden gepresenteerd aangaande het IJmeer-Markermeer. In de tweede paragraaf worden de karakteristieken van de golfcondities rondom IJburg toegelicht en het effect op de golfontwikkeling in IJburgbaai. Waarna in paragraaf 3.3 de waterveiligheidsstatus wordt beoordeeld en de aanpassing van het dijkprofiel wordt gepresenteerd. In de laatste paragraaf wordt toegelicht wat het effect is van Buiteneiland en de nieuwe normering op de waterveiligheidsstatus IJburg.

3.1 Hydraulische belasting

De belastingen op waterkeringen worden in principe veroorzaakt door drie fenomenen: rivierafvoeren, getij en wind. Voor de situatie IJburg, gekarakteriseerd door golfcondities aan het IJmeer-Markermeer manifesteren enkel het fenomeen wind. Het watersysteem heeft geen invloed van getij doordat het watersysteem gesloten is en hierdoor geen open verbinding heeft met zee. De bedreiging door rivierafvoeren manifesteert zich in hoge waterstanden. Echter, beschikt het IJmeer-Markermeer over een gereguleerd waterpeil. Door het vastgesteld waterpeil worden de rivierafvoeren gereguleerd waardoor rivierafvoeren geen bedreiging is op de hydraulische randvoorwaarde waterstand. Wind is dominerende en tevens drijvende factor voor de hydraulische randvoorwaarden op het IJmeer-Markermeer.

Figuur 3-1 toont de bedreigende invloeden op de randvoorwaarden per watersysteem in Nederland (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). Het watersysteem IJsselmeer/Markermeer is representatief voor situatie IJburg. In het figuur is te zien dat hydraulische randvoorwaarden waterstand, golven en buioscillaties, seiches en slingeringen van belang zijn. In de volgende sub paragrafen worden deze afzonderlijk beschreven.

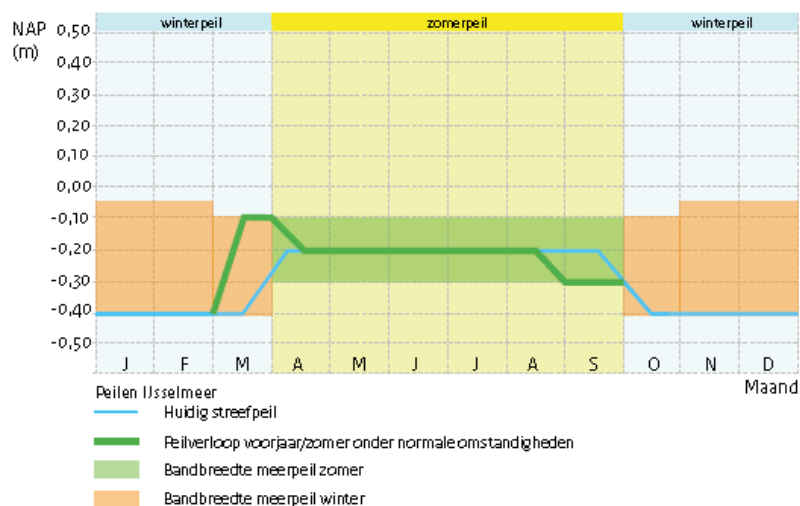
Bedreiging door Randvoorwaarden	Afvoer Waterstand	Getij Waterstand	Waterstand	Wind Golven	Buistoten, bui-oscillaties, seiches en slingeringen
Bovenrivieren	+			(+)	
Benedenrivieren	+	+	+	+	+
IJsseldelta	+		+	(+)	
Vechtdelta	+		+	+	
IJsselmeer/Markermeer	+		+	+	(+)
Zee en Estuaria		+	+	+	+

+ is van belang; (+) is minder van belang

Figuur 3-1: Bedreigende invloeden op de randvoorwaarden per watersysteem in Nederland

3.1.1 Waterstand

Waterbeheerders beheren kunstmatig het waterpeil op het IJmeer-Markermeer. Het peilbeheer wordt door Rijkswaterstaat uitgevoerd door bij de Houtribdijk water te spuien of in te laten. In de zomer is er een hoger peilniveau dan in de winter. Dit is mogelijk doordat in de zomer relatief lage golfcondities zijn in vergelijking met de golfcondities in de winter. In Figuur 3-2 zijn de streefpeilen in 2017 voor winter en zomer weergegeven met bijhorende bandbreedte. Te zien is dat voor de zomer het streefpeil -0.20 m + NAP bedraagt, en het winterpeil -0.4 m + NAP (Rijkswaterstaat, 2016a).

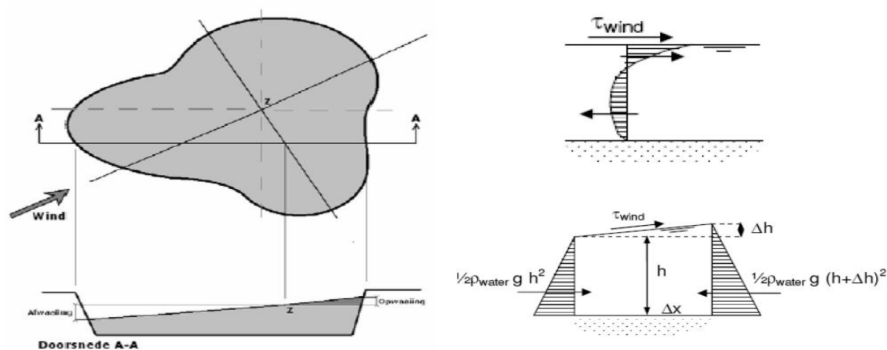


Figuur 3-2: Peilbesluit IJsselmeer (Rijkswaterstaat, 2016a)

Het streefpeil in de zomer is als randvoorwaarde gesteld voor waterstand in het ontwerp voor IJburg omdat het zomerpeil maatgevend is. Naast het streefpeil is er een tweede mechanisme van invloed op de waterstand, namelijk: afwaaiing en opwaaiing.

Afwaaiing en opwaaiing

Een tweede mechanisme die invloed heeft op het waterniveau is afwaaiing en opwaaiing, of ook wel windopzet genoemd. Bij windopzet oefent de wind een schuifspanning uit op het wateroppervlak, waardoor het water in de richting van de wind wordt opgestuwd. Hierdoor ontstaat een waterstandverschil tussen de boven- en benedenwindse zijde van het IJmeer-Markermeer, ook wel opwaaiing en afwaaiing genoemd. De grootte van de opwaaiing is onder meer afhankelijk van de windkracht, de windrichting, de windduur, de afmetingen van het windveld en de diepte van het meer. Figuur 3-3 toont de mechanismes afwaaiing en opwaaiing.



Figuur 3-3: Waterstand; mechanisme afwaaiing en opwaaiing

3.1.2 Golven

Om een schatting te maken van golfrandvoorwaarden zijn diverse empirische golfgroei krommes beschikbaar. In het gebruikte model in deze thesis, Hydra Zoet, zijn de significante golfhoogte en de piekperiode berekend met de golfgroei formules van Bretschneider (TAW, 1989). De variabelen in de Bretschneider formule zijn: strijklengte, windsnelheid en waterdiepte. Deze parameters hebben invloed op de golfgroei en zijn representatieve waarden waarvan de bepaling kan verschillen van bron tot bron. Met deze variabelen worden golfgegevens als significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p berekend.

3.1.3 Buistoten, buioscillaties, seiches en slingeren

De laatste randvoorwaarden onder invloed van wind zijn buistoten, buioscillaties, seiches en slingeren. In Figuur 3-1 wordt aangegeven dat deze randvoorwaarde minder van belang is en in de gebruikte Hydra Modellen, Hydra M en Hydra Zoet, worden deze randvoorwaarden niet meegenomen (Duits & Kuijper, 2012). Bij verdere berekening van de kruinhoogte voor de kering wordt er een onzekerheidstoeslag voor dit fenomeen toegepast. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 3.3: Beoordeling waterveiligheidsstatus IJburg.

3.2 Karakteristieken van de golfcondities rondom IJburg

Golfspectra en golfparameters veranderen als golven van diep water tot ondiep water propageren. De vaste verhouding tussen golfparameters zijn dan niet meer geldig waardoor golfcondities veranderen, derhalve, de hydraulische ontwerprandvoorwaarden. De hydraulische ontwerprandvoorwaarden worden kwantitatief bepaald met het programma SwanOne. Hierbij wordt de golfontwikkeling in de IJburgbaai gemodelleerd. De toepassing van het programma is beschreven in Appendix C: SwanOne. Fysische processen hebben invloed op de golfcondities. De volgende fysische processen worden beschreven, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen de totale configuratie van eilanden en de afwezigheid van Buiteneiland:

- Golfgroei door wind;
- Windopzet;
- Bodemwrijving;
- Golfbreking;
- Stroming;
- Shoaling;
- Refractie;
- Diffractie;
- Reflectie.

Ter verduidelijking illustreren Figuur 3-4 en Figuur 3-10 het golfontwikkeling traject in IJburgbaai voor totale eilandenconfiguratie respectievelijk zonder aanwezigheid van Buiteneiland. De groene lijn in Figuur 3-10 illustreert de golfontwikkeling vanaf een illustratiepunt (BUE3) waar statistische gegevens met betrekking tot de randvoorwaarden bekend is in het gebruikte model voor deze thesis: Hydra Model. Dit is verder toegelicht in Appendix B: Hydra Modellen.



Figuur 3-4: Golfontwikkeling IJburgbaai; totale configuratie



Figuur 3-5: Golfontwikkeling IJburgbaai; afwezigheid Buiteneiland

3.2.1 Golfgroei door wind

Effect totale configuratie: sterk aanwezig (++); Effect afwezigheid Buiteneiland: sterk aanwezig (++)

De grootste invoer van energie is golfgroei door wind. Dit proces is wordt beschreven aan de hand van golfgroei-curve van Bretschneider. De strijklengte, windsnelheid en waterdiepte zijn representatieve waarden voor golfcondities, zoals significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p . Ondanks de significant grotere strijklengte van de maatgevende golf in Figuur 3-10 en de grotere golfcondities ter gevolg, zoals beschreven in paragraaf 3.2.4 Hydraulische belasting IJburg, is het verschijnsel ook de grootste energietoevoer voor met de aanwezigheid van Buiteneiland zoals in Figuur 3-9.

3.2.2 Windopzet

Effect totale configuratie: sterk aanwezig (++); Effect afwezigheid Buiteneiland: sterk aanwezig (++)

Bij windopzet oefent de wind een schuifspanning uit op het wateroppervlak, waardoor het water in de richting van de wind wordt opgestuwd. De grootte van de opwaaiing is onder meer afhankelijk van de windkracht, de windrichting, de windduur, de afmetingen van het windveld en de diepte van het meer. De afwezigheid van Buiteneiland geeft geen verandering in de mate van invloed van dit fenomeen. De afmetingen van het windveld beïnvloeden de waterstandverhoging en zijn voor beide situaties gelijk is.

3.2.3 Bodemwrijving

Effect totale configuratie: aanwezig (+); Effect afwezigheid Buiteneiland: sterk aanwezig (++)

Golven kunnen op diep water zich over enorme afstanden voortplanten met een verwaarloosbaar energieverlies. Als ze echter in ondiep water komen, voelen de golven de bodem en neemt de golfhoogte af door bodemwrijving. Bodemwrijving houdt in dat wrijvingsverliezen tussen waterbeweging en bodemoppervlak zorgen voor een golfhoogte verlagend effect. De eigenschappen van het bodemoppervlak beïnvloeden de grootte van de wrijving respectievelijk het energieverlies van de golf. In 2008 zijn er op de bodem van het IJmeer voor Haveneiland West 28 hectare aan kunstmatige mosselbanken aangelegd. Hard substraat heeft de voorkeur voor de aanhechting van mosselen. De bodem is hiervoor bedekt met stenen. Dit heeft invloed op de bodemruwheid waardoor er meer bodemwrijving plaatsvindt op de golfontwikkeling dan in de voorgaande situatie waar de IJburgbaai geheel een kleiachtige bodem betreft.



Figuur 3-6: Ligging mosselbanken systeemgebied IJburg

Figuur 3-6 geeft de geografische ligging van de mosselbanken. Bodemwrijving is ook belangrijk voor sedimenttransport. Alhoewel golven op zich weinig of geen transport veroorzaken, worden zandkorrels en slib wel gemakkelijker in beweging gebracht, waardoor ze kunnen worden meegevoerd door de heersende stroming. In de huidige situatie is dit proces niet relevant doordat er alleen waterkeringen van harde materialen aanwezig is en er geen sediment transport wordt verwacht. Echter, keringen bestaande uit zachte materialen, bijvoorbeeld zand, is dit proces in sterke mate aanwezig. Hoofdstuk 6 Building with Nature-type oplossingen worden zachte materialen als kustverdediging gepresenteerd. Kortom, bodemwrijving is in sterke mate toegenomen door de komst van de mosselbanken. Echter, is het substraat van de mosselbanken niet geïmplementeerd in het model van SwanOne. Verder onderzoek wordt aanbevolen voor de mate van bodemwrijving door de ligging van de mosselbanken en de invloed hierop op de golfontwikkeling, derhalve, hydraulische ontwerprandvoorwaarden.

3.2.4 Golfbreking

Effect totale configuratie: niet aanwezig (-); Effect afwezigheid Buiteneiland: niet aanwezig (-)

Golven kunnen op diep water zich over enorme afstanden voortplanten met een verwaarloosbaar energieverlies. Als golven bewegen van diep naar ondiep water, neemt de waterdiepte af. Bij erg kleine waterdiepte kan daarbij ook diepte-geïnduceerd breken van de golf optreden. Dit laatste kan een aanzienlijke reductie van de golfhoogte geven, en beïnvloedt de golfperiode. De mate van golfbreking door diepte is afhankelijk van de verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte, van bodem tot vrij wateroppervlak. Het effect is verwaarloosbaar als de verhouding tussen de significante golfhoogte en de diepte kleiner dan 0,3 bedraagt ($H_{m0} / d < 0,3$). Dit is het geval voor beide situaties en scenario's. De maatgevende situatie geeft een golfhoogte en waterdiepte (=windopzet + bodemdiepte) met verhouding kleiner dan de gestelde 0,3 waardoor de mate van diepte geïnduceerd breken niet aanwezig is in de IJburgbaai.

3.2.5 Stroming

Effect totale configuratie: sterk aanwezig (++); *Effect afwezigheid Buiteneiland: aanwezig (+)*

De stroming op het IJmeer en in het bijzonder rondom Centruimeiland en Middeneiland wordt beïnvloed door wind. Opwaaiing en afwaaiing veroorzaken waterstandsverschillen die de stroming op het IJmeer aandrijven. Daarnaast ontstaat stroming op het IJmeer door de directe werking van de wind (schuifspanning) op het wateroppervlak. De combinatie van beide windinvloeden zorgt voor complexe rondstromingen rondom de eilanden van IJburg. Deze complexe stroompatronen als gevolg van wind kunnen niet nauwkeurig met een handberekening bepaald worden, maar een 3D numeriek stromingsmodel zal een uitkomst bieden om stromingspatronen te berekenen.

Door de relatief hoge windsnelheden en de geometrie van de eilanden rondom IJburg kunnen lokaal (in de geulen en scherpen randen van Buiteneiland) relatief hoge stroomsnelheden voorkomen. Vuistregels waarmee de stroomsnelheid aan het oppervlak kan worden afgeschat, geven aan dat de orde van grote ongeveer 3% bedraagt ten opzichte van de windsnelheid op 10 m hoogte ten opzichte van stil water oppervlak (Poortman, van den Boomgaard, de Wit, & van Leeuwen, 2016). De maatgevende windsnelheid is 19.8m/s, hetgeen betekent dat de stroomsnelheid in de orde van grootte 0,6 m/s bedraagt. Deze stroming snelheden zullen komen te vervallen door de afwezigheid van Buiteneiland. Stromingseffecten zijn niet geïmplementeerd in de het gebruikte SwanOne model. Verder onderzoek wordt aanbevolen voor de nauwkeurigheid van het effect van stroming op de hydraulische randvoorwaarden.

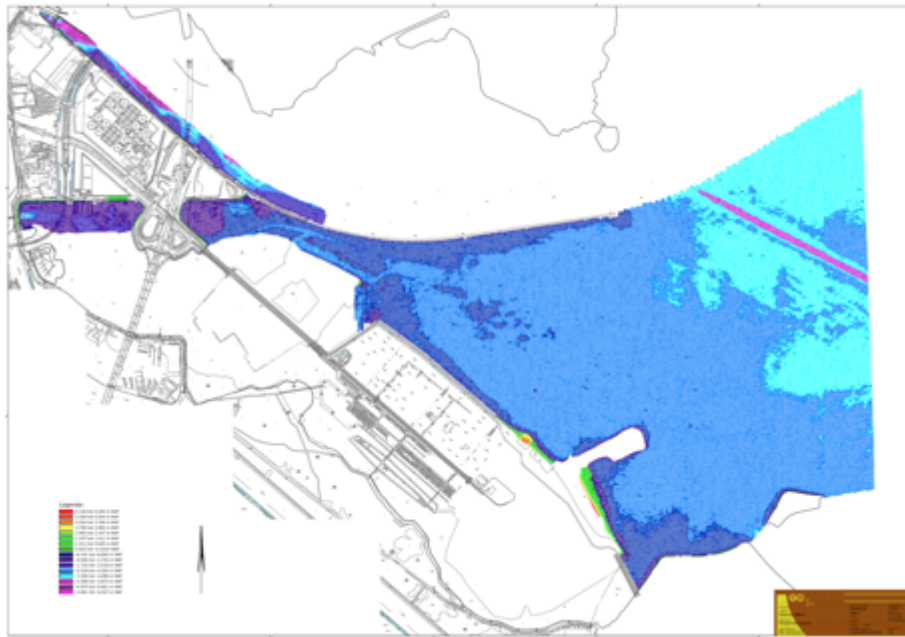
3.2.6 Shoaling

Effect totale configuratie: niet aanwezig (-); Effect afwezigheid Buiteneiland: niet aanwezig (-)

Shoaling in het fenomeen van een veranderende golf bij het geleidelijk naderen van ondieper water. Dit geldt met name voor de verhouding tussen de lokale voortplantingssnelheden en de voortplantingssnelheid in diep water (c en c_0), en

de verhouding tussen de lokale golfhoogte en golfhoogte in diep water (H en H_0). Golven worden hoger en steiler door de afname van voortplantingssnelheid. De karakteristiek van waterdiepte (diep water, ondiep water) wordt afgeleid door de formule van der Meer: relatieve waterdiepte ter hoogte van de teen van de constructie voor $h/H_s > 3$ (*Physical processes and design tools*, 2007).

Ten gevolge van de maatgevende golfcondities zowel ter hoogte van het illustratiepunt als ter hoogte van de teen van de waterkering, bevindt de golf zich in diep water. Doordat de golf zich niet in ondiep water propageert wordt de golf niet hoger of steiler door de afname van de golfvoortplantingssnelheid. Dit is ook duidelijk doordat er geen golfbreking optreedt. Figuur 3-7 toont de bathymetrie van het plangebied. De kleuren in het figuur staan voor de volgende waterdiepte: paars – 5.5-6.6 m; turquoise – 3.3-4.1 m; lichtblauw – 2.5-3.3 m; donkerblauw – 1.7-2.25 m.



Figuur 3-7: Bathymetrie systeemgebied IJburg

3.2.7 Refractie

Effect totale configuratie: verwaarloosbaar (0); Effect afwezigheid Buiteneiland: verwaarloosbaar (0)

Versijnsel van verandering van golfvoortplantingsrichting die optreedt bij golven die onder een hoek op de kust afkomen. Het is het gevolg van variaties van voortplantingssnelheid langs de golfkammen, voor zover deze veroorzaakt worden door verschillen in waterdiepten.

Figuur 3-7 toont de bathymetrie van het plangebied en het verschil in waterdiepte. Met een berekening wordt gecontroleerd of de golfrichting door diepte-refractie niet parallel op de kust afkomen. Hieraan wordt voldaan als:

Vergelijking 3-1: Golfrefractie

$$\sqrt{\frac{d_1}{d_0}} * \sin(\theta) < 1$$

Waarin:

d_0 : lokale waterdiepte inkomende golf [m];

θ : inkomende golfrichting [°];

d_1 : lokale waterdiepte ter plaatse van rekenpunt [m].

Voor de maatgevende golfgegevens wordt aan de voorwaarde voldaan (0,8) waarbij geconcludeerd wordt de afbuiging van de golfstraal een verwaarloosbaar effect heeft. Het refractie effect is ook gemodelleerd met het programma SwanOne. Hier is een verandering van golfrichting van 3 graden aanwezig.

3.2.8 Diffractie

Effect totale configuratie: verwaarloosbaar (0); Effect afwezigheid Buiteneiland: niet aanwezig (-)

Diffractie is het effect dat golven zullen doordringen in de schaduwzone van een obstakel. In het algemeen zullen de golfhoogten aan de zijde achter het obstakel lager zijn dan aan de zijde waar de golven invallen. Door interferentie met andere golven kunnen grotere golfhoogten ontstaan. Echter, verwacht wordt dat lokale windgroei in het gebied achter Buiteneiland effecten ver overstijgt (Poortman et al., 2016). Naar waarschijnlijkheid zullen diffractie effecten lokaal nabij Buiteneiland spelen, en vrijwel niet langs de waterkering van Haveneiland. Voor de situatie zonder aanwezigheid van Buiteneiland volgt ook een afwezigheid van de schaduwzone achter het eiland. Diffractie effecten ten gevolge van de aanwezigheid van Buiteneiland zijn hier niet aanwezig. Effecten ten gevolge van Middeneiland zijn wel aanwezig maar verwaarloosbaar.

3.2.9 Reflectie

Effect totale configuratie: verwaarloosbaar (0); Effect afwezigheid Buiteneiland: niet aanwezig (-)

Reflectie is het effect dat golfenergie deels wordt teruggekaatst door constructies, waardoor er hogere golven kunnen ontstaan dan de inkomende golf. De mate van reflectie kan worden bepaald door de reflectiecoëfficiënt die de verhouding geeft tussen de hoogte van de invallende golf en de hoogte van de teruggekaatste golf. De coëfficiënt wordt bepaald door de steilheid van de golf (het quotiënt van de golfhoogte en golflengte). De mate van reflectie is behalve de steilheid van de golven ook afhankelijk van de bekleding en de steilheid van het talud. Naarmate het talud steiler of gladder is zal er meer energie teruggekaatst worden. Reflectie effecten als gevolg van Buiteneiland zijn aanwezig. Echter, verwacht wordt, net als diffractie effecten, dat lokale windgroei in het gebied achter Buiteneiland effecten ver overstijgt. Daarnaast, als effecten zich voordoen deze naar waarschijnlijkheid lokaal bij Buiteneiland aanwezig zullen zijn. De afwezigheid van Buiteneiland zorgt ook voor afwezigheid van reflectie effecten. Enkel zijn deze lokaal aanwezig bij Middeneiland, maar verwaarloosbaar.

3.2.10 Samenvatting fysische processen

Tabel 3-1 geeft een overzicht van de mate van invloed van de fysische verschijnselen voor de situatie met totale eilanden configuratie en de situatie afwezigheid van Buiteneiland. Hierin wordt met de volgende notatie de mate van invloed aangegeven: (++) sterk aanwezig, (+) aanwezig, (0) verwaarloosbaar, (-) niet aanwezig. De laatste kolom in de tabel geeft weer of het fysisch verschijnsel wordt gemodelleerd in het programma SwanOne. Hieruit kan worden opgemaakt dat de modelkeuze van toepassing is op de casus doordat het model de aanwezige effecten modelleert op bodemwrijving na. Zoals toegelicht in de alinea wordt verder onderzoek aanbevolen naar het effect van de aanwezige mosselbanken op de golfcondities.

Tabel 3-1: Fysische verschijnselen rondom IJburg en de mate van invloed waarin: (++) sterk aanwezig, (+) aanwezig, (0) verwaarloosbaar, (-) niet aanwezig

Fysisch proces	Totale eilanden configuratie	Afwezigheid Buiteneiland	SwanOne
Golfgroei	(++)	(++)	(+)
Windopzet	(++)	(++)	(+)
Bodemwrijving	(+)	(++)	(-)
Golfbreking	(-)	(0)	(+)
Stroming	(++)	(+)	(-)
Shoaling	(-)	(0)	(+)
Refractie	(0)	(0)	(+)
Diffractie	(0)	(-)	(-)
Reflectie	(0)	(-)	(-)

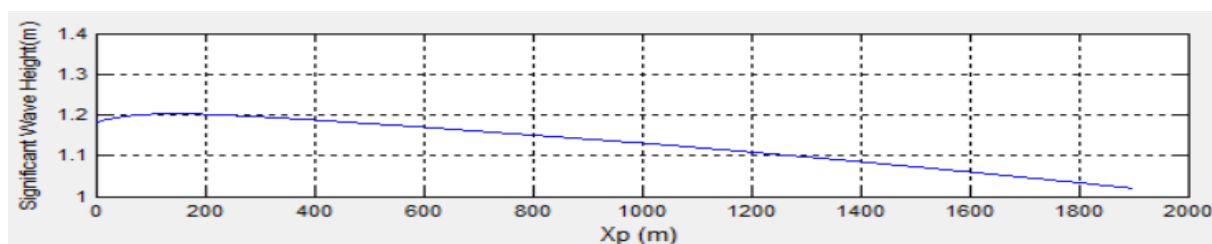
De uitkomsten van de analyse en berekeningen geven aan dat golfgroei door wind, windopzet, bodemwrijving en in mindere mate stroming en refractie de belangrijkste processen zijn en dat deze ver domineren boven golfbreking, shoaling, diffractie en reflectie effecten. Diffractie en reflectie zijn vaak pas van belang als er op een andere manier geen golfenergie kan doordringen. Dit treedt op met name op plaatsen direct achter een obstakel, deze effecten zijn niet van toepassing op de waterkering van IJburg fase 1. Door de minimaal variërende bodemdpte in de IJburgbaai is er door refractie minimale richtingsspreiding en hierdoor wel aanwezig maar verwaarloosbaar.

De golfontwikkeling vanaf het buitenwater IJmeer tot de teen van de waterkering in Haveneiland West, geïllustreerd in Figuur 3-10, is gemodelleerd met het programma SwanOne. Zoals te zien in Tabel 3-1 zijn de effecten ten gevolge van

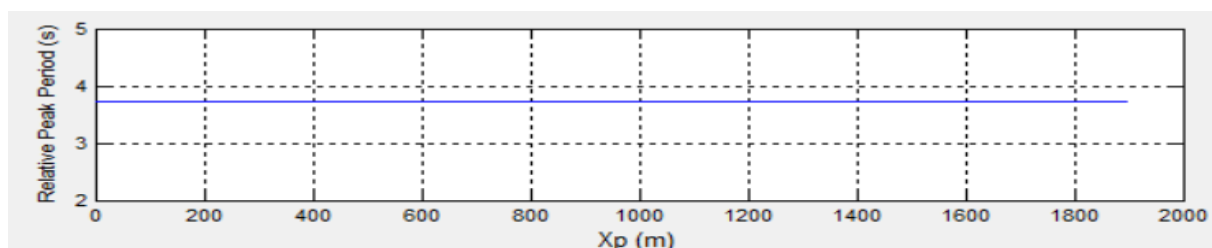
bodemwrijving, stroming, diffractie en refractie niet meegenomen in de berekening. De resultaten zijn weergegeven op volgende pagina in Figuur 3-8, Figuur 3-9, Figuur 3-10, Figuur 3-11 en representeren achtereenvolgend de significante golfhoogte, piekperiode, golfrichting en waterdiepte. De waterdiepte staat hier voor bodemniveau tot waterstandniveau. Tabel 3-2 geeft de resultaten uit de grafieken weer. De resultaten geven de hydraulische ontwerprandvoorwaarden aan de teen van de waterkering Haveneiland West weer. Met deze waarden kan in de vereiste kruinhoogte worden bepaald en vervolgens de waterveiligheid worden beoordeeld. Dit wordt toegelicht in de volgende paragraaf 3.3: Beoordeling waterveiligheidsstatus IJburg.

Tabel 3-2: SwanOne; resultaten

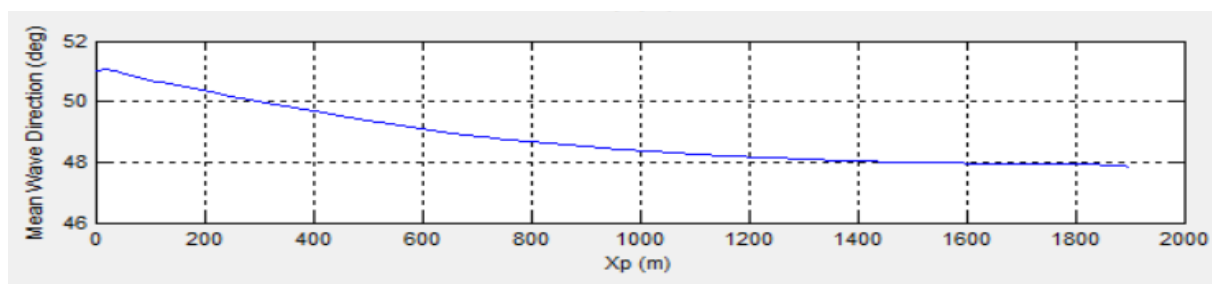
Parameter	Eenheid	Waarde ter hoogte van illustratiepunt	Waarde ter hoogte van teen waterkering
Waterstand h	[m+NAP]	3.92	2.87
Golfhoogte H_s	[m]	1.18	1.03
Piekperiode T_p	[s]	3.9	3.9
Windrichting R	[°]	51	47



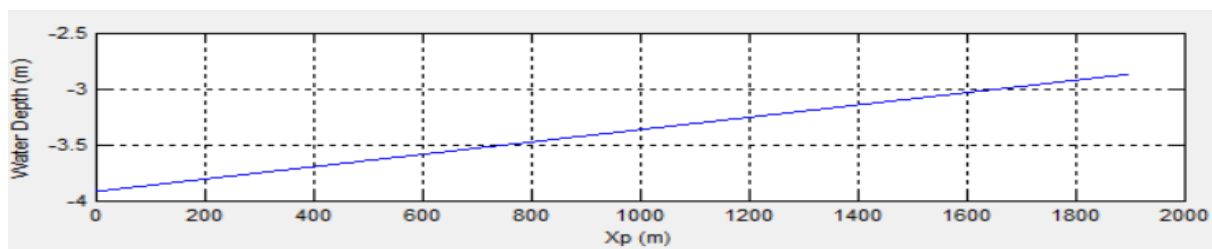
Figuur 3-8: Significante golfhoogte [m] (y-as) per afstand [m] (x-as)



Figuur 3-9: Piekperiode [s] (y-as) per afstand [m] (x-as)



Figuur 3-10: Golfrichting [°] (y-as) per afstand [m] (x-as)



Figuur 3-11: Waterdiepte [m] (y-as) per afstand [m] (x-as)

3.3 Beoordeling waterveiligheidsstatus IJburg

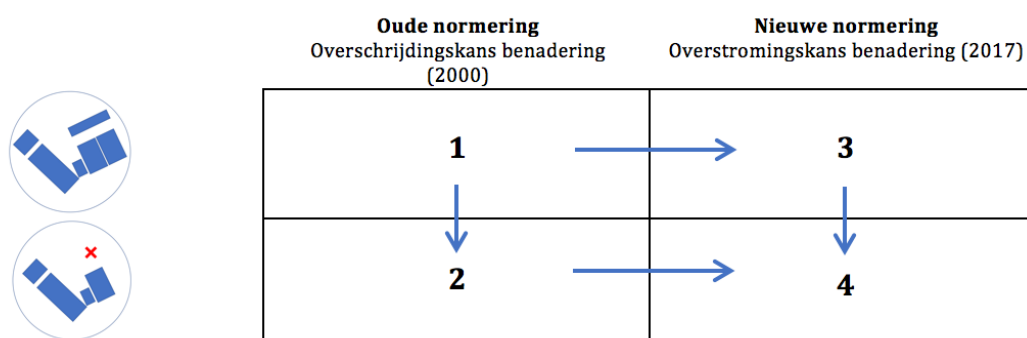
De waterveiligheidsstatus van IJburg wordt beoordeeld door het berekenen van de vereiste kruinhoogte van de primaire waterkering uitgaande van het faalmechanisme overloop en overslag. Hierbij worden in deze thesis twee ontwikkelingen in acht genomen:

- Uitgesteld besluit met betrekking tot het aanleggen van Buiteneiland;
- Implementatie van de nieuwe normering voor primaire keringen in Nederland.

Om het effect van de ontwikkelingen afzonderlijk te beoordelen ontstaan 4 scenario's met betrekking tot de waterveiligheidsstatus en de boven gepresenteerde ontwikkelingen:

- **Scenario 1:** Waterveiligheidsstatus IJburg uitgaande van de totale eilandengroep conform de oude normering voor primaire waterkeringen;
- **Scenario 2:** Waterveiligheidsstatus IJburg uitgaande van de afwezigheid van Buiteneiland conform de oude normering voor primaire waterkeringen;
- **Scenario 3:** Waterveiligheidsstatus IJburg uitgaande van de totale eilandengroep, conform de nieuwe normering voor primaire waterkeringen;
- **Scenario 4:** Waterveiligheidsstatus IJburg uitgaande van de afwezigheid van Buiteneiland, conform de nieuwe normering voor primaire waterkeringen.

De waterveiligheidsstatus wordt in deze studie beoordeeld door voor ieder scenario een waterkering ontwerp op te leveren met een vereiste kruinhoogte. Deze kruinhoogte wordt vergeleken met de huidige waterkering (Scenario 1) waarna kan worden opgemaakt of een aanpassing aan de bestaande kering nodig is, derhalve, de waterveiligheidsstatus kan worden beoordeeld. Verder wordt door het vergelijken van de verschillende scenario's duidelijk wat de afzonderlijke effecten op de kering zijn van de twee belangrijkste invloeden. Figuur 3-12 illustreert door middel van een matrix de twee ontwikkelingen: configuratie eilanden verticaal, en normering voor primaire kering horizontaal. De pijlen geven aan welke scenario's met elkaar vergeleken worden.



Figuur 3-12: Scenario matrix; configuratie eilanden en normering primaire kering

Beheerders van keringen beoordelen primaire keringen door middel van een wettelijk beoordelingsinstrumentarium: WBI2017. Zoals beschreven in Hoofdstuk 2 Achtergrond; Waterveiligheid, wordt in deze thesis Ontwerp Instrument 2014 toegepast doordat WBI2017 volop in voorbereidingsfase is. Voor het bepalen van de vereiste kruinhoogte van de kering moet de hydraulische belasting op de kering worden vastgesteld. De hydraulische belasting wordt berekend met door het Rijksoverheid beschikbaar gesteld programma: Hydra Model. De kern het programma is dat de kansverdelingen van de belangrijkste bedreigingen (meerpeil, afvoer windsnelheid, windrichting) worden meegenomen in de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden. Het resultaat is een frequentie, in keren per jaar, waarmee een bepaald hydraulisch belastingniveau wordt overschreden. Het hydraulische belastingniveau wordt gedefinieerd als de kruinhoogte van de waterkering die precies aan de berekende waterstand inclusief de gestelde criteria voor golfploop of golfoverslag voldoet (Rijkswaterstaat, 2012). Bij de aanleg van IJburg in 2000 zijn de waterkeringen ontworpen met behulp van Hydra M. Bij de beoordelingsmethode OI2014 wordt het model Hydra Zoet gebruikt. Momenteel worden keringen beoordeeld in Nederland uitgaande van WBI2017, waarvoor Hydra NL is ontwikkeld. Appendix B geeft een beschrijving en toepassing op casus IJburg voor in thesis gebruikte programma's Hydra M als Hydra Zoet. Voor het berekenen van de benodigde kruinhoogte van een primaire kering wordt gebruik gemaakt van Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken uitgegeven door de Technische Adviescommissie Waterkeringen (van der Meer, 2002). Omdat een dijktalud ingewikkeld kan zijn door meerdere taludhellingen, bermen en taluddelen met verschillende ruwheden, is het programma PC Overslag ontwikkeld. Dit programma is gebaseerd op de formules uit het Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken. In Appendix D: PC Overslag, worden

algemene formules van golfoploop en golfoverslag toegelicht waarna de benodigde kruinhoogte van Haveneiland West zijn berekend. In Figuur 3-13 wordt een overzicht van de gebruikte modellen per scenario gegeven. De technische uitgangspunten en de uitkomsten van de berekeningen voor de vereiste kruinhoogten voor ieder scenario worden gepresenteerd in de volgende sub paragrafen.

	Oude normering Overschrijdingskans benadering	Nieuwe normering Overstromingskans benadering
	Hydra M	- Hydra Zoet - PC Overslag
	Hydra M	- Hydra Zoet - SwanOne - PC overslag

Figuur 3-13: Matrix gebruikte modellen per scenario

3.3.1 Scenario 1: Totale eilandengroep IJburg conform oude normering

De gemeenteraad van Amsterdam heeft in september 1996 besloten tot de aanleg van IJburg en in 2000 heeft het Ingenieursbureau Amsterdam een detail ontwerp opgeleverd (Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam, 2000). Het ontwerpproces voor de waterkering is het berekenen van de definitieve kruinhoogte. Hiervoor is Hydra Model Hydra M gebruikt. De berekeningen zijn in Hydra M uitgevoerd op basis van een dataset met waterstanden, golfhoogten en golfperioden, die bij verschillende combinaties van meerpeil, windsnelheid en windrichting kunnen voorkomen op verschillende locaties rond IJburg.



Figuur 3-14: Scenario 1; maatgevende strijklengte

Figuur 3-14 illustreert het scenario door de markering van de totale configuratie van eilanden en met de rode lijn aangegeven effectieve strijklengte. Het ontwerp berust op de volgende technische uitgangspunten en worden hieronder afzonderlijk toegelicht:

- Normering;
- Overslagcriterium;
- Waterstand;
- Marges en onzekerheden.

Normering

Het veiligheids criterium wordt gerepresenteerd door de toelaatbare overschrijdingsfrequentie van de hydraulische belasting op de dijk (waterstand en golfhoogte). Het veiligheids criterium voor een waterkering geldt voor de waterstaatkundige eenheid waarvan de betreffende waterkering deel uitmaakt: het dijkkringgebied. Er is een overschrijdingsfrequentie van de hydraulische belasting voor het ontwerp van 1/4.000 per jaar gehanteerd.

Overslagcriterium

De kruinhoogte wordt bepaald door een maatgevende hoogwaterstand, vermeerderd met een waakhogte die wordt bepaald door een maximaal toelaatbaar golfoverslagdebiet. Het maximaal toelaatbaar golfoverslagdebiet is 0,3 l/m/s. Indien deze waakhogte minder dan 0,50 meter bedraagt, geldt het waterstandscriterium. Dit criterium is van toepassing in een gebied waar golfaanval een ondergeschikte rol speelt.

Waterstand

De gemiddelde waterstanden gehanteerd voor het ontwerp zijn de volgende streefpeilen van het Markermeer:

- Zomerpeil: -0,2 m + NAP
- Winterpeil: -0,4 m + NAP

In het ontwerp is rekening gehouden met een verhoging van 0,2 meter, als gevolg van potentiële omkering zomer- en winterpeil van het Markermeer. Ontwerp waterstand bedraagt -0,2 m + NAP. Verder wordt rekening gehouden met de mogelijkheid dat in de toekomst peilaanpassingen zullen plaatsvinden. De kering beheerder heeft hierom geëist dat het ontwerp van de waterkeringen rekening wordt gehouden met een potentiële ophoging van 0,5 meter. Voor de verwachte wijziging van waterstanden in het Markermeer in de zijn een drietal mechanismes verantwoordelijk:

- Klimaatverandering en de zeespiegelrijzing zullen de waterhuishouding van het IJsselmeer en Markermeer beïnvloeden; naar verwachting zal dit een stijging van de peilen veroorzaken;
- De waterhuishouding van het IJsselmeer en Markermeer zullen worden aangepast aan de klimaatverandering en de zeespiegelstijging.
- Mogelijke aanpassing van het streefpeil van het Markermeer met oog op ecologische effecten.

Marges en onzekerheden

In het ontwerp zijn marges en onzekerheden gehanteerd voor resultaten van Hydra M en de configuratie van eilanden. Hydra M is het rekenmodel waarmee Rijkswaterstaat de vijfjaarlijkse beoordeling van primaire waterkeringen uitvoert. Bij het gebruik van het model wordt geadviseerd door Rijkswaterstaat om op de kruinhoogte een marge toe te voegen waarin toekomstige model onzekerheden worden verdisconteerd. Op dit verzoek is een marge van 0,2 meter in rekening gebracht. Voor wijzigingen van de vormgeving van de eilanden van de eilanden wordt een marge van 0,25 meter in rekening gebracht.

De technische uitgangspunten zijn geïmplementeerd in Hydra M. De benodigde kruinhoogte wordt bepaald door de maatgevende hoogwaterstand en door golfaanval. De maatgevende windrichting voor IJburg is Noordoost, omdat bij wind uit deze richting de hoogste waterstanden optreden, als gevolg van opwaaiing vanuit het Markermeer. Zuidwestenwind (die vaker voorkomt dan noordoostenwind) is voor kruinhoogteberekeningen niet relevant, omdat daarbij afwaaiing van het meerpeil en dus een lage waterstand bij IJburg optreedt. De uitkomsten met betrekking tot de hydraulische randvoorwaarden en de resultaten van de kruinhoogteberekening voor scenario 1 is weergegeven in Tabel 3-3 respectievelijk Tabel 3-4. De volledige uitwerking is beschreven in Appendix B: Hydra Modellen.

Tabel 3-3: Scenario 1; hydraulische randvoorwaarden Hydra M

Parameter	Eenheid	Waarde
H _s	[m]	0,72
T _p	[s]	2,61

Tabel 3-4: Scenario 1; vereiste kruinhoogte Hydra M

Parameter	Eenheid	Waarde
Kruinhoogte (MHW + waakhogte)	[m + NAP]	1,40
Marges en onzekerheden	[m]	0,45
Definitieve kruinhoogte	[m + NAP]	1,85

De vereiste kruinhoogte voor de kering is 1,40 m. Dit bestaat uit de bepaalde waterstand (+0,70 m+NAP) en de berekende waakhogte (0,70 m) dit samen met de marges en onzekerheden betreft model en configuratie eilanden (0,2 m respectievelijk 0,25 m) wordt de kruinhoogte 1,85 m+NAP. Hieruit volgt het dijkprofiel van de waterkering van Haveneiland West (zie Figuur 3-16):

- Taludhelling is 1:2,5 tussen +1,85 m+NAP en -0,20 m+NAP;

- Taludhelling is 1:5 tussen -0,20 m+NAP en -2,25 m + NAP (bodem IJburgbaai);
- Niveau van teen talud -2,25 m+NAP (bodem IJburgbaai).

Waarbij de kering volgende eigenschappen betreft:

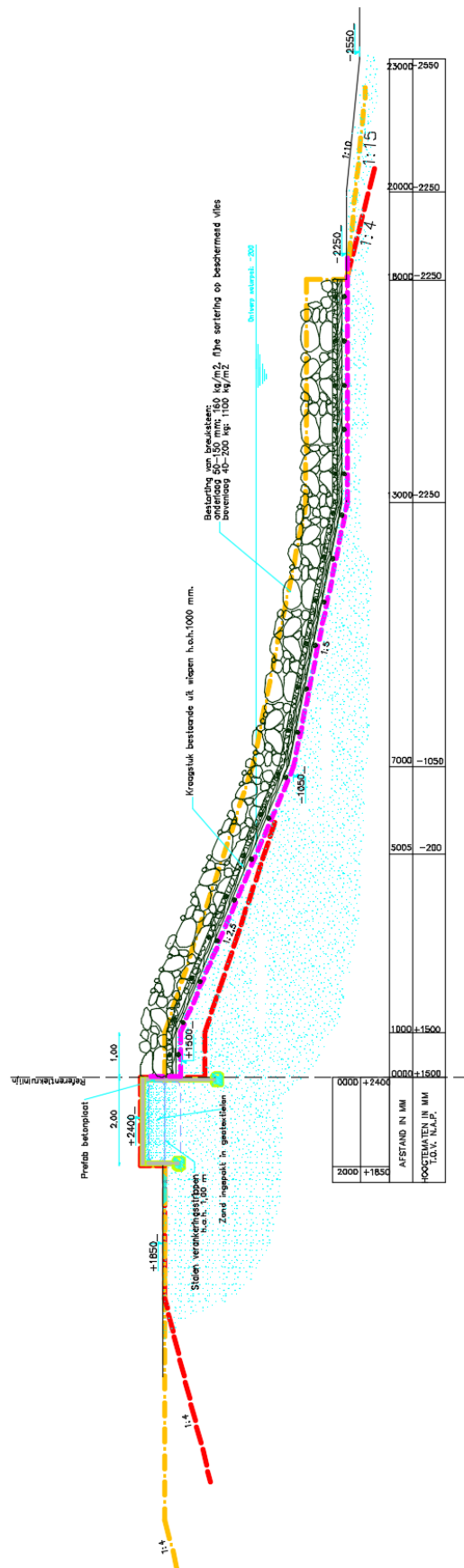
- Bekleding talud is stortsteen met een ruwheidsfactor 0,55;
- Bestorting van breuksteen:
 - Onderlaag 50-150 mm, 160 kg/m²;
 - Bovenlaag 40-200 kg, 1100 kg/m².
- Kraagstuk bestaande uit wiepen hartafstand 1 meter;
- Betonelement bestaande uit prefab betonplaat met zand ingepakt in geotextielen.

In het ontwerp is het talud bekleed met stortsteen en is op de kruin een verticaal betonelement geplaatst. Het verticale betonelement draagt niet bij aan de vereiste veiligheid doordat het verticale betonelement hoger is dan de benodigde kruinhoogte. Geconcludeerd is dat de waterkering niet voldoet bij afwezigheid van het Buiteneiland omdat de vereiste kruinhoogte hoger ligt dan de kruinhoogte in het ontwerp. Echter, er kan onderzoek gedaan worden naar de invloed van het betonelement op de waterveiligheidsstatus. Het betonnen element met een hoogte van 2,40 m+NAP zou een hogere marge kunnen geven aan de gestelde eisen voor erosie van het binnentalud. Ook is de hoogte afwijkend van de kruinhoogte. De mate van invloed van het betonelement wordt aanbevolen voor verder onderzoek.

Het dijkprofiel van Haveneiland West bestaat uit eenzelfde profiel met een lengte van 1400 meter. In Figuur 3-15 is een foto van het profiel Haveneiland West te zien boven water. Te zien is de dijkbekleding van stortsteen, het betonnen element, het met asfalt bekleedde fietspad met aangrenzend groen van bomen en gras. Het profiel heeft de uitstraling van een robuuste kering. Met name de uitgestrektheid van het profiel, gecombineerd met het stortsteen met het groots ogende kruinelement maakt het tot een stoere kering. Naast de water kerende functie van de kering, heeft de kering een recreatieve functie doordat de kering toegankelijk is met wandelpad en fietspad en een groene bomenreeks. Verder kent het profiel beperkte ecologische kwaliteiten. Enkel biedt het harde substraat in het water een vestigingsplaats voor macrofauna.



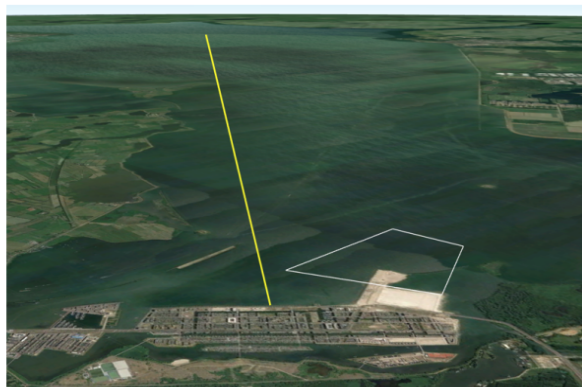
Figuur 3-15: Illustratie waterkering Haveneiland West; ecologische en recreatieve waarden



Figuur 3-16: Technische tekening primaire waterkering Haveneiland West

3.3.2 Scenario 2: Afwezigheid van Buiteneiland conform oude normering

Scenario 2 verschilt van scenario 1 door de afwezigheid van Buiteneiland. Figuur 3-17 illustreert het scenario door de markering van Middeneiland en met een gele lijn aangegeven de effectieve strijklengte. Eenzelfde waarden voor de technische uitgangspunten uit scenario 1 worden gehanteerd namelijk: normering (1/4.0000 per jaar), overslagcriterium (0,3 l/m/s) en waterstand (-0,2 m + NAP). Enkel de marges en onzekerheden veranderen doordat de onzekerheid met betrekking tot de vormgeving van de eilanden niet meer in rekening moet worden gebracht. Enkel de model onzekerheden moeten worden gehanteerd wat neer komt op een extra toevoeging aan de kruinhoogte van de kering van 0,25 meter.



Figuur 3-17: Scenario 2; maatgevende strijklengte

Met bovenstaande technische uitgangspunten worden in het programma Hydra M de hydraulische randvoorwaarden en de vereiste kruinhoogte bepaald gepresenteerd in Tabel 3-5 respectievelijk Tabel 3-6. Een volledige uitwerking van de berekening wordt gepresenteerd in Appendix B: Hydra Modellen. In vergelijking met de hydraulische randvoorwaarden uit scenario 1, zijn de significante golfhoogte en piek periode respectievelijk 0,72 m en 2,61 s. Er kan geconcludeerd worden dat de afwezigheid van het eiland in een vergroting van de golfcondities resulteert. In Hydra Modellen zijn de significante golfhoogte en de piekperiode berekend met de golfgroei formules van Bretschneider. De variabelen in de Bretschneider formule zijn: strijklengte, windsnelheid en waterdiepte. De maatgevende parameter voor de verandering is de strijklengte. Deze verschilt voor scenario 1 en 2 van nabij 2 km naar 38 km. Daarnaast verschilt de waterdiepte voor scenario 1 en 2 met 2,25 m en 3 m door het verschil in locatie van het illustratiepunt, de locatie waar de hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen. Echter, het diepteverschil heeft verwaarloosbare invloed op de golfparameters golfhoogte en piekperiode, dit wordt verder toegelicht in paragraaf 3.2 Karakteristieken golfcondities rondom IJburg.

De hydraulische randvoorwaarden leveren een vereiste kruinhoogte van 2,09 m + NAP. Dit door aan de berekende kruinhoogte van 1,89 m + NAP de modelonzekerheid, 0,2 m, toe te voegen. De waarden zijn weergegeven in Tabel 3-6. De kering voldoet niet aan het vereiste waterveiligheidsniveau van overschrijdingsfrequentie 1/4.000 per jaar, doordat aan de kering een aanpassing vereist is om dit gewenste niveau te behalen. Hierdoor kan geconcludeerd worden dat het Buiteneiland effect heeft op de vereiste kruinhoogte van de primaire waterkering, derhalve, de waterveiligheidsstatus, doordat het verschil in scenario 1 en 2 enkel de aanwezigheid van het eiland betreft.

Tabel 3-5: Scenario 2; hydraulische randvoorwaarden Hydra M

Parameter	Eenheid	Waarde
H_s	[m]	0,99
T_p	[s]	4,01

Tabel 3-6: Scenario 2; vereiste kruinhoogte Hydra M

Parameter	Eenheid	Waarde
Kruinhoogte (MHW + waakhogte)	[m + NAP]	1,89
Marges en onzekerheden	[m]	0,2
Definitieve kruinhoogte	[m + NAP]	2,09

3.3.3 Scenario 3: Totale eilandengroep IJburg conform nieuwe normering

Het derde scenario bestaat uit de beoordeling van de waterveiligheidsstatus uitgaande van de totale configuratie van eilanden conform de nieuwe normering. In deze studie wordt de overstromingsbenadering van de nieuwe normering toegepast in OI2014. Uitgaande van OI2014 worden de hydraulische randvoorwaarden berekend met het programma Hydra Zoet. De basisinvoer van de deterministische berekening in Hydra Zoet bestaat uit de lokale waterstand, aan de teen van de dijk en de lokale windcondities snelheid en richting. Voor elke windrichting wordt een berekening gemaakt

met de ontwerpwind snelheid en voor de meest belastende windrichting worden de resultaten gepresenteerd. De lokale waterstand en lokale windcondities worden vertaald naar de lokale golfcondities: significante golfhoogte, piekperiode en golfrichting. Bij deze vertaling worden geometriegegevens van de locatie gebruikt. In deze paragraaf worden de technische uitgangspunten en resultaten weergegeven. Voor de volledige uitwerking van de berekening wordt verwezen naar Appendix B: Hydra Modellen en Appendix D: PC Overslag.



Figuur 3-18: Scenario 3; maatgevende strijklengte

Figuur 3-18 illustreert het scenario door de markering van de totale configuratie van eilanden en met de rode lijn aangegeven effectieve strijklengte. Het ontwerp berust op de volgende technische uitgangspunten en worden hieronder afzonderlijk toegelicht:

- Normering;
- Overslagcriterium;
- Zichtjaar;
- Waterpeil;
- Marges en onzekerheden.

Normering

In de norm dient de overstromingskansnorm per faalmechanisme vertaald te worden naar een faalkanseis op doorsnedeniveau, rekening houdend met het zogenaamde lengte effect en de faalkansruimte die is gereserveerd voor het beschouwde faalmechanisme. In het onderzoek wordt het faalmechanisme overloop en overslag in beschouwing genomen. De faalkanseis die per doorsnede aan het faalmechanisme overloop en golfoverslag wordt gesteld, wordt berekend met de volgende formule (Rijkswaterstaat, 2017a):

Vergelijking 3-2: Faalkanseis voor het faalmechanisme golfoploop en golfoverslag

$$P_{\text{eis hoogte}} = \frac{P_{\text{max}} * \omega_{\text{Hoogte}}}{N_{\text{Hoogte}}}$$

Waarin:

$P_{\text{eis hoogte}}$: faalkanseis voor het faalmechanisme golfoploop en golfoverslag [per jaar]
 P_{max} : maximale toelaatbare overstromingskans op traject niveau [per jaar]
 ω_{hoogte} : faalkansbudget [-]
 N_{hoogte} : factor voor het lengte effect [-]

In Tabel 3-7 worden de resultaten voor de faalkanseis weergegeven.

Tabel 3-7: Parameters faalkanseis golfoploop en golfoverslag

Parameter	Eenheid	Waarde
Signaleringswaarde	[1/jaar]	1/300
Toelaatbaar overstromingskans	[1/jaar]	1/100
Faalkansbudget	[-]	0.24
Lengte effect factor	[-]	2
Faalkanseis op doorsnede niveau Hoogte	[1/jaar]	0.0012 (1/833)

Naast de beschikbare faalkansruimte dient er rekening te worden gehouden met het zogenaamde lengte-effect. Het principe van het lengte-effect ontstaat doordat de kans dat het ergens in de dijkkring mis gaat, groter is dan de kans dat de dijk precies op een bepaalde locatie in de dijkkring doorbreekt. Hoe langer de waterkering is, des te groter de kans dat de dijk ergens bezwijkt. Met andere woorden: als niet exact bekend is waar de dijk het zwakst is, is er overal een kleine kans dat de dijk precies daar het eerste zal bezwijken. Het lengte-effect voor de waterkering van IJburg bedraagt, $N = 2$ (Rijkswaterstaat, 2017a). De uiteindelijk gehanteerde ontwerp frequentie (= faalkanseis op doorsnede niveau voor hoogte) is 1/833 per jaar.

Overslagcriterium

De hoogte van de rekenwaarde van het kritieke overslagdebiet is een vooraf vastgestelde parameter en is afhankelijk van aanvullende eisen aan het binnentalud. De nieuwe norm heeft betrekking op de kans dat de primaire kering ergens faalt, door welke oorzaak dan ook, leidend tot een overstromingspatroon dat vergelijkbaar is aan het overstromingspatroon waarop de norm is gebaseerd.

Het oorspronkelijke overslagcriterium was 0,3 l/m/s (scenario 1 en 2). Echter, de waterkering voor Haveneiland West ontbreekt een binnentalud. Het maaiveld achter de dijk is hoger of even hoog als de kruin van de dijk. Hierdoor is er een verschuiving van waarden voor het overslagcriterium. Voor het ontwerp van de waterkering wordt een golfoverslagdebiet van 10 l/m/s aangehouden conform handreiking OI2014. Om de gevoeligheid van dit criterium na te gaan zijn de resultaten van een conservatievere benadering, namelijk een kritiek overslagdebiet van 5 l/m/s, onderzocht. Resultaten zijn te vinden in Appendix C: PC Overslag.

Zichtjaar

Het zichtjaar waarvoor de ontwerprandvoorwaarden worden bepaald, hangt nauw samen met de levensduur van het ontwerp en daarmee ligt de keuze voor een zichtjaar dus bij de ontwerper Gemeente Amsterdam. Als richtlijn wordt de levensduur in de Leidraad zee- en meerdijken aangenomen: voor de waterkering wordt een zichtjaar 2121 gehanteerd.

Waterpeil

Voor het ontwerp van de waterkeringen moet volgens OI2014 worden uitgegaan van het Klimaatscenario W+, dit komt overeen met de Deltascenario's Stoom en Warm (KNMI, 2006). De doorwerking daarvan op het meerpeil is tevens sterk afhankelijk van de beleidsmatige keus die moet worden gemaakt op het peilbeheer. Hiervoor is de realisatie van genoeg extra pompcapaciteit in de Afsluitdijk noodzakelijk. In het klimaatscenario wordt een zeespiegelstijging van 0,35 m tot 2050 en 0,85 m tot 2100 gehanteerd. Het Nationale Waterplan stelt als doel voor het IJsselmeer tot 2050 geen peilverhoging zal plaatsvinden en dat tussen 2050 en 2100 maximaal 0,30 m peilverhoging kan plaatsvinden. Voor de aangrenzende meren, waaronder het IJmeer-Markermeer voorziet het Nationale Waterplan na 2050 geen peilstijging (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken, 2015)..

Om het doel van het Nationaal Waterplan te kunnen realiseren moet extra pompcapaciteit in de Afsluitdijk en in de Houtribdijk worden gebouwd. Deze laatste voorziening is nog niet gegarandeerd en vraagt om een bestuurlijk besluit. Daarom wordt geadviseerd om tussen 2050 en 2100 wel uit te gaan van een peilverhoging van het Markermeer. Om voor deze analyse de verhoging te kunnen bepalen, wordt gerefereerd naar het Addendum op de Leidraad Zee- en Meerdijken (TAW, 1999) waarin staat dat 60% van de peilstijging op het IJsselmeer door komt op het Markermeer.

Indien de maximum peilverhoging van het IJsselmeer (0,30 m) gegarandeerd kan worden, zal het Markermeer tussen 2050 en 2100 met 0,18 m stijgen. In het slechtste scenario kan het doel van het Nationaal Waterplan niet worden gerealiseerd (de minimale benodigde extra pompcapaciteit kan niet gerealiseerd worden) en bedraagt de stijging van het Markermeer 0,30 m (60% van 0,50 m). Samengevat zijn voor het Markermeer, als gevolg van die van het IJsselmeer, de volgende Meerpeilstijgingen gepresenteerd in onderstaand Tabel 3-8. Voor het Haveneiland is besloten rekening te houden met 0,30 m meerpeilstijging op het IJsselmeer in 2100 en dat in de Houtribdijk extra pompcapaciteit kan worden geconstrueerd. Dit betekent een stijging van het Markermeer van 0,18 m in 2100.

Tabel 3-8: Meerpeilstijgingen IJmeer-Markermeer

Peilverhoging IJsselmeer tussen 2050 en 2100 [m]	Peilverhoging 2050 [m]	IJmeer-Markermeer	Peilverhoging 2100 [m]	IJmeer-Markermeer
0.3	0.0		0.18	
0.5	0.0		0.3	

Marges en onzekerheden

Bij het bepalen van de ontwerpbelastingen in Hydra Zoet dient een onzekerheidstoeslag te worden meegenomen. Deze onzekerheidstoeslag dient om de effecten van onzekerheden in het belastingmodel en de statistiek te verdisconteren in

de hydraulische belastingen. De onzekerheidstoelagen verschillen per watersysteem. Tabel 3-9 presenteert de onzekerheidstoelagen voor het IJmeer-Markermeer.

Tabel 3-9: Onzekerheidstoelagen voor het IJmeer-Markermeer

Watersysteem	Parameter	Onzekerheidstoelage
Meren (IJmeer-Markermeer)	Waterstand	+0,40 m
	Golfhoogte	+10%
	Golfperiode	+10%

Naast de onzekerheidstoelage met betrekking tot de hydraulische belasting wordt een toeslag voor slingeren en robuustheidstoelage toegevoegd. De toeslag voor slingeren is aanwezig doordat deze niet zijn meegenomen in de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden in Hydra Model Hydra Zoet. De robuustheidstoelage is afkomstig van de waterkering beheerder Waternet. Zij stellen dit in verband met toekomstige onzekerheden met betrekking tot het peilbeheer en kennisontwikkeling. Beide toeslagen is in de vorm van een toevoeging aan de berekende kruinhoogte. De toeslag voor slingeren betreft 0,10 meter en de robuustheidstoelage betreft 0,30 meter op de berekende kruinhoogte waardoor tezamen 0,40 meter wordt toegevoegd (S. Post & Winkelhorst, 2017).

Met bovenstaande technische uitgangspunten worden in het programma Hydra Zoet de hydraulische randvoorwaarden en de vereiste kruinhoogte bepaald gepresenteerd in Tabel 3-10 respectievelijk Tabel 3-11. Een volledige uitwerking van de berekening wordt gepresenteerd in Appendix B: Hydra Modellen en Appendix D: PC Overslag.

Tabel 3-10: Scenario 3; hydraulische randvoorwaarden Hydra Zoet

Parameter	Eenheid	Waarde
Waterstand	[m+NAP]	0,73
Golfhoogte	[m]	0,54
Golfrichting	[°]	47
Piekperiode	[s]	2,2
Windrichting	[-]	NO
Windsnelheid	[m/s]	20,4

Tabel 3-11: Scenario 3; vereiste kruinhoogte PC Overslag

Parameter	Eenheid	Waarde
Kruinhoogte	[m + NAP]	1,50
Marges en onzekerheden	[m]	0,40
Definitieve kruinhoogte	[m + NAP]	1,90

Geconcludeerd kan worden dat voor de toekomstige situatie, conform beoordelingsmethode OI2014, waarin de totale eilandengroep van IJburg representatief is, de primaire waterkering van Haveneiland West een kruinhoogte van 1.90 m wordt vereist. De huidige kruinhoogte is 1.85 m, wat neer komt op een verschil van 0.05 m. Officieel is het waterveiligheidsniveau onvoldoende, maar een verschil van 0,05 meter wordt niet als substantieel gezien wat een aanpassing in de vorm van een dijkverhoging resulteert. Daarbij wordt verder onderzoek aanbevolen om de gestelde waterveiligheidseisen te beoordelen. Voor deze studie kunnen conservatieve waarden zijn gebruikt waardoor de vereiste kruinhoogten hoger uitvallen. Uit vervolgstudie kan blijken dat de berekeningen conservatieve waarden bevatten waardoor een lagere kruinhoogte wordt vereist van de kering. Verdere toelichting wordt gegeven in Hoofdstuk 9: Aanbeveling voor vervolgstudie.

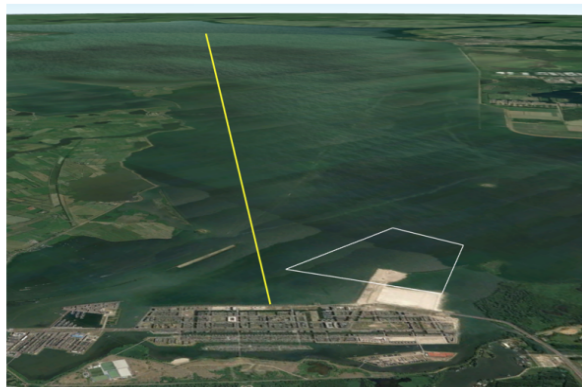
3.3.4 Scenario 4: Afwezigheid van Buiteneiland conform nieuwe normering

Scenario 4 verschilt van scenario 3 door de afwezigheid van Buiteneiland. Figuur 3-19 illustreert het scenario door de markering van Middeneiland en met een gele lijn aangegeven de effectieve strijklengte. Dezelfde waarden met betrekking tot de technische uitgangspunten uit scenario 3 worden gehanteerd, dit zijn:

- Normering:
 - Faalkanseis 1/833 per jaar
- Overslagcriterium: 10 l/m/s
- Zichtjaar: 2121
- Waterpeil: 0,18 meter

■ Marges en onzekerheden:

- Hydraulische belasting (waterstand +0,40 m, golfhoogte en golfperiode +10%);
- Toeslag slingeren (+0,10 m);
- Robuustheidstoeslag (+0,30 m).



Figuur 3-19: Scenario 4; maatgevende strijklengte

De berekeningen van de kruinhoogten worden uitgevoerd zoals in scenario 3, door middel van Hydra Model Hydra Zoet. Hydra-Zoet bevat een dataset met huidige informatie van waterstanden, golfhoogten en golfperioden die bij verschillende combinaties van meerpeil, windsnelheid en windrichting kunnen voorkomen op verschillende locaties rond IJburg. De beschikbare datasets met informatie voor verschillende locaties worden illustratiepunten genoemd. Doordat Buiteneiland in dit scenario afwezig is verschild het illustratiepunt ten opzichte van scenario 3. Het representatieve illustratiepunt bevindt zich bijna loodrecht op de kering en aan de rand van het open buitenwater IJmeer-Markermeer waardoor geen effecten van land of kust invloed uitoefenen op de randvoorwaarden. Omdat voor het berekenen van de kruinhoogte van de kering de hydraulische randvoorwaarden aan de teen van de waterkering worden gehanteerd, is de golfontwikkeling in de IJburgbaai, oftewel van het illustratiepunt tot de teen van de kering, relevant. Dit is kwalitatief uiteengezet in paragraaf 3.2: Karakteristieken van de golfcondities rondom IJburgbaai, en kwantitatief bepaald door middel van het programma SwanOne. Vervolgens is de kruinhoogte bepaald door middel van het programma PC Overslag. De volledige uitwerking van de berekeningen worden gepresenteerd in Appendix B, C en D respectievelijk Hydra Modellen, SwanOne, PC Overslag. Tabel 3-12, Tabel 3-13 en Tabel 3-14 geven de resultaten van de berekeningen.

Tabel 3-12: Scenario 4; hydraulische randvoorwaarden Hydra Zoet

Parameter	Eenheid	Waarde
Waterstand	[m+NAP]	0,62
Golfhoogte	[m]	1,18
Golfrichting	[°]	51
Piekperiode	[s]	3,9
Windrichting	[-]	NO
Windsnelheid	[m/s]	20,6

Tabel 3-13: Scenario 4; golfontwikkeling IJburgbaai resultaten SwanOne

Parameter	Eenheid	Waarde ter hoogte van illustratiepunt	Waarde ter hoogte van teen waterkering
Waterstand h ¹	[m+NAP]	3,92	2,87
Golfhoogte Hs	[m]	1,18	1,03
Piekperiode Tp	[s]	3,9	3,9
Windrichting R	[°]	51	47

¹ Waterstand is inclusief waterdiepte voor waarden programma SwanOne.

Tabel 3-14: Scenario 4; kruinhoogteberekeningen PC Overslag

Parameter	Eenheid	Waarde ter hoogte van illustratiepunt	Waarde ter hoogte van teen waterkering
Kruinhoogte	[m+NAP]	2,40	2,05
Marges onzekerheden	en [m]	0,40	0,40
Definitieve kruinhoogte	[m+NAP]	2,80	2,45

Als besluit met betrekking tot het aanleggen van het Buiteneiland uitblijft is de vereiste kruinhoogte voor de primaire waterkering 2,45 m+NAP. Hierin is de golfontwikkeling in de IJburgbaai meegerekend. Als het Illustratiepunt als representatieve waarden wordt beschouwd, en de resultaten van SwanOne niet worden geïmplementeerd, heeft de primaire waterkering een vereist kruinhoogte van 2.80 m. Dit betekent een minimale ophoging van de kruin van het dijkprofiel van 0,95 m. De volgende subparagraaf geeft een overzicht van de scenario's met betrekking tot de waterveiligheidsstatus en de benodigde ingreep met betrekking tot de primaire kering.

3.3.5 Consequenties voor primaire waterkering Haveneiland West

De waterveiligheidsstatus van IJburg is beoordeeld aan de hand van vier scenario's. Tabel 3-15 geeft een overzicht van de scenario's voor de karakteristieken en de resultaten aangaande het waterveiligheidsniveau.

Tabel 3-15: Resultaten; waterveiligheidsniveau per scenario

Scenario	Buiteneiland	Benadering	Vereiste kruinhoogte	Waterveiligheidsniveau
1	Aanwezig	Overschrijdingsfrequentie	1,85 m	Voldoende
2	Afwezig	Overschrijdingsfrequentie	2,09 m	Onvoldoende
3	Aanwezig	Overstromingskans	1,90 m	Voldoende ¹
4	Afwezig	Overstromingskans	2,45 m	Onvoldoende

¹ Officieel is het waterveiligheidsniveau onvoldoende, maar door het verschil van 0,05 m heeft dit in praktijk een verwaarloosbaar effect en wordt gesteld dat de primaire waterkering alsnog voldoende waterveiligheidsniveau biedt

Geconcludeerd kan worden dat de afwezigheid van Buiteneiland een dusdanig groot effect heeft op de waterveiligheidsstatus van IJburg voor beide normeringsbenaderingen en dat de huidige kruinhoogte voor beide benaderingen onvoldoende blijkt. De resultaten uit scenario 4 kunnen beschouwd worden als 'worst case'-scenario. Het technisch ontwerp als gevolg van dit scenario wordt in de verdere thesis bij het ontwerpen van de BwN alternatieven als uitgangspunt genomen, zogenoemd 0-alternatief. Het technisch ontwerp betreft voor dit scenario een dijkversterking met een minimale verhoging van de kruinhoogte van 0,6 m. Er bestaat geen mogelijkheid om de bovenwaterhelling van stortsteen van het ontwerp aan te passen doordat de specificatie voor de maximale steilheid voor de helling 1:3 bovenwater is. Echter, de aanlegghelling is 1:2,5. Deze steilere waarden is door het in acht nemen van de verandering van helling door de beoogde zakking van het ontwerp over 50 jaar. Een kruinverhoging van 0,6 m houdt een verschuiving van de referentielijn van 1,5 m. Wanneer het Illustratiepunt als representatieve waarden wordt beschouwd, en de golfontwikkeling in de IJburgbaai buiten beschouwing wordt gelaten, heeft de primaire waterkering een vereist kruinhoogte van 2,80 m. Dit betekent een minimale verschuiving van de referentiekruin van 2,4 m. De herziende vereiste kruinhoogte geeft de volgende aanpassingen in het dijkprofiel:

- 0,6 meter ophoging met zand dijkprofiel: 9.000 m³;
- 1,5 meter verschuiving naar links van referentiekruin;
- 1,5 meter lengte extra steenbekleding:
 - Onderlaag 50-150 mm, 160 kg/m²: totaal 350 ton;
 - Bovenlaag 40-200 kg, 1.100 kg/m²: totaal 2.300 ton;

Voor de referentielijn is een beton kruinelement aanwezig. Dit betonelement wordt gebruikt voor wandelaars. Daarnaast bevindt zich aangrenzend aan het kruinelement een fietspad. Aan dit fietspad zijn specificaties gesteld waardoor deze niet kan worden versmald. De aanpassing van de kering heeft consequenties voor het wandelpad, deze gaat verloren. In Figuur 3-20 wordt de consequentie voor het wandelpad geïllustreerd. De werkzaamheden die voor het nieuwe dijkprofiel moeten worden verricht over de gehele lengte van de totale kering van 1.400 meter betreffen:

- Optillen en verplaatsen betonelement;
- Ophogen en herstellen;
 - Aanbrengen zandhoogte;

- Aanbrengen extra bestorting breuksteen;
- Aanbrengen extra kraagstuk (wiepenrooster/geotextiel);
- Aanbrengen extra asfalt.



Figuur 3-20: Illustratie consequentie kering scenario 4

3.4 Effect van het Buiteneiland en nieuwe normering op waterveiligheidsstatus IJburg

In dit Hoofdstuk zijn twee ontwikkelingen met betrekking tot de waterveiligheidsstatus onderscheiden, dit zijn:

- Uitgesteld besluit met betrekking tot het aanleggen van Buiteneiland;
- Implementatie van de nieuwe normering voor primaire keringen in Nederland.

Geconcludeerd kan worden het Buiteneiland een dusdanig groot effect heeft op de hydraulische randvoorwaarden, derhalve, de vereiste kruinhoogte van de kering. Dit blijkt uit de verschillen tussen scenario 1 en 2, en tussen scenario 3 en 4. Hiervoor zijn rekenmethodes en technische uitgangspunten gelijk op het illustratiepunt na wat het verschil in de aanwezigheid van het Buiteneiland inhoudt. Verschil in resultaten voor vereiste kruinhoogte van de waterkering zijn hiervoor enkel te wijten aan het effect van de aanwezigheid van het Buiteneiland.

Naast het effect van het Buiteneiland is een nieuwe benadering met betrekking tot de normering toegepast. Om het effect afzonderlijk in kaart te brengen worden scenario 1 en 3 met elkaar vergeleken en scenario 2 en 4. Echter, voor deze verschillen is de verklaring minder eenduidig dan het effect van de afwezigheid van Buiteneiland. Dit komt doordat de verschillen in vereisten kruinhoogten niet enkel aan het verschil in waterveiligheidsbenadering (normering) kan worden toegewezen. In de tijd, 2000-2017, hebben ontwikkelingen plaatsgevonden voor rekenmethoden en kennis vergaard over het klimaat, welke invloed hebben op de uitkomsten van de berekeningen. Tabel 3-16 geeft een overzicht van de karakteristieken van de beoordelingsmethode van het huidig ontwerp (anno 2000) en het toekomstig ontwerp (anno 2017).

Tabel 3-16: Karakteristieken beoordelingsmethode huidig ontwerp (anno 2000) en toekomstig ontwerp (anno 2017)

	Huidig ontwerp waterkering anno 2000; conform TAW Leidraad zee en meerdijken (TAW, 1999)	Toekomstig ontwerp waterkering anno 2017; conform OI2014 (Rijkswaterstaat, 2017a)
Rekenprogramma	Hydra M	Hydra Zoet, PC Overslag
Waterveiligheidsniveau	Overschrijdingsfrequentie 1/ 4.000 per jaar	Faalkanseis Hoogte 1/ 833 per jaar
Criterium	0,3 l/s/m	10 m/l/s
golfoverslagdebiet		
Marges	- Slingeringen +0.10 m op kruinhoogte - Modelonzekerheden 0.2 m	- Slingeringen +0.10 m op kruinhoogte - Modelonzekerheden waterstand (+0,4 m) golfhoogte en piekperiode (+10%) - Robuustheidsmarge vanuit waterkering beheerder 0.3 m op kruinhoogte
Peilbeheer	+ 0 m	+ 0,18 m
waterstandverhoging		

Samengevat, heeft in de tijd (2000-2017) ontwikkeling plaatsgevonden op de volgende aspecten met betrekking tot de waterveiligheidsbeoordeling: rekenprogramma, waterveiligheidsbenadering, peilbeheer IJmeer-Markermeer en toe te passen marges.

Zowel Hydra M als Hydra Zoet berusten op dezelfde principes. Hydra M staat voor Hydra Markermeer, waarna opvolgend Hydra Zoet is ontwikkeld geïntegreerd met alle zoetwateren (Hydra Zoet wateren). Voor alle geselecteerde locaties in de database worden berekeningen gemaakt voor het hydraulische belastingniveau. Beide programma's zijn de stochasten meerpeil, windsnelheid en windrichting relevant voor het IJmeer-Markermeer, derhalve, de resultaten. Conform OI2014 wordt gebruik gemaakt van PC Overslag voor het berekenen van golfoploop en golfoverslag conform TAW.

De nieuwe normering is gebaseerd op een nieuwe benadering, namelijk van een overschrijdingsbenadering naar een overstromingsbenadering. Oorspronkelijk zitten er in de beoordelingsmethode volgens overschrijdingsfrequentie vele aannames, bijvoorbeeld over de faalmechanismen. In de nieuwe veiligheidsfilosofie worden de hierin verborgen onzekerheden meer expliciet meegenomen. Kennisontwikkeling zorgt ervoor dat onzekerheden wat betreft hydraulische belasting en de sterkte van de dijk worden verkleind. Hierdoor wordt verwacht in de toekomst dijkontwerpen maken, waarbij de onzekerheidsmarge kleiner is. Hierdoor kan het geld voor dijkversterking efficiënter worden besteed (Stowa, 2017). Kanttekening die hierbij gemaakt wordt is dat OI2014 een niet gehele toepassingswijze van de nieuwe normering betreft. Voor verder onderzoek wordt aanbevolen om een beoordeling uit te voeren conform WBI2017, waarbij de beoordeling van de waterkering geheel probabilistisch wordt uitgevoerd volgens de overstromingskansbenadering.

Anno 2000, was er geen sprake van een waterstandsverhoging met betrekking tot peilbeheer van het IJmeer-Markermeer. In de ontwerpen anno 2017 is besloten rekening te houden met 0,30 m meerpeilstijging op het IJsselmeer in 2100 en dat in de Houtribdijk extra pompcapaciteit kan worden geconstrueerd. Dit betekent een stijging van het Markermeer van 0,18 m in 2100 doordat wordt gesteld dat 60% van de peilstijging op het IJsselmeer door komt op het Markermeer. Als gevolg van deze onzekerheden met betrekking tot het peilbeleid wordt door de waterbeheerder van de waterkering een extra robuustheidsmarge voor de ontwerpen ingesteld van 0,3 m op de kruinhoogte van de primaire kering.

Er kan dus geconcludeerd worden dat door de nieuwe benadering als gevolg van kennisontwikkeling wordt verwacht dat onzekerheden wat betreft hydraulische belasting en de sterkte van de dijk worden verkleind, derhalve onzekerheidsmarges met betrekking tot dijkontwerpen worden verkleind. Dit betekent dat een lagere vereiste kruinhoogte wordt verwacht. Echter, doordat er veel onzekerheden zijn met betrekking tot het peilbeheer in het toepassingsgebied IJmeer-Markermeer als gevolg van klimaatveranderingen, worden onzekerheidsmarges toegevoegd (waterstandsniveau en robuustheidsmarge), waardoor de vereiste kruinhoogte van de primaire waterkering Haveneiland West nagenoeg gelijk blijft.

4

Stakeholderanalyse

Een stakeholder is een overheidsorgaan, particuliere organisatie of een persoon die een rol speelt of werkzaam is binnen het project. Verschillende stakeholders hebben verschillende redenen om deel te nemen aan of zich tegen te keren tot projectontwikkeling in een specifiek gebied. Een zorgvuldige selectie van partners en het beheren van de oppositie helpt om een project haalbaar en succesvol te maken.

Voor een toepassing van een BwN oplossing is een goed overzicht van de betrokken stakeholders met bijkomende wensen en behoeften van essentieel belang. Verschillen en overeenkomsten worden duidelijk en er ontstaan kansen voor mogelijke samenwerkingen tussen de stakeholders. Tegenovergesteld, kunnen er ook conflicten ontstaan tussen stakeholders en is van belang om inzichtelijk te maken. Deze overeenkomstige respectievelijk conflicterende belangen worden meegenomen in het ontwikkelen van ontwerp alternatieven en dienen als basis voor de uiteindelijke evaluatie van de oplossingsvarianten.

In de eerste paragraaf wordt de methode van de stakeholderanalyse toegelicht, waarna in de tweede paragraaf de stakeholders worden gedefinieerd en de belangen van de diverse actoren overzichtelijk in kaart worden gebracht. In de derde paragraaf wordt de positie van de stakeholders en hun onderlinge relaties geschetst.

4.1 Methode

Voor vroegtijdig inzicht wordt een stakeholderanalyse aan het begin van het project uitgevoerd. In deze analyse wordt onderscheid gemaakt tussen belangen en standpunten van een stakeholder. Als men het over belang van een stakeholder heeft dan betreft het hier om iets dat vaak op een hoger niveau ligt dan een standpunt. In het bijzonder heeft men het over een standpunt als een van de manieren om invulling te geven aan dat belang wat onveranderbaar is. Het opstellen van een stakeholderanalyse wordt gedaan door middel van de volgende uitvoerende stappen:

- 1 In kaart brengen van de betrokkenen partijen;
- 2 Het definiëren van de belangen van iedere stakeholder;
- 3 De positie bepalen die wordt ingenomen door iedere stakeholder;
- 4 Het vaststellen of er een basis is voor samenwerking tussen stakeholders;
- 5 Het bepalen van de macht en invloed per stakeholder;
- 6 Het selecteren van de belangrijke en relevante stakeholders.

In de volgende paragrafen worden de uitkomsten van de stappen gepresenteerd.

4.2 Stakeholders en hun belangen

Deze paragraaf definieert alle stakeholders betrokken bij het ontwerp met het geprioriteerde belang. De paragraaf is opgedeeld in type stakeholders respectievelijk sub paragrafen 4.2.1 Overheidsorganen, 4.2.2 Particuliere organisaties en 4.2.3 Personen. De nummers aanwezig in de titels van de stakeholders komen overeen met de nummering in Tabel 4-1. Tabel 4-1 geeft een overzicht van alle stakeholders en hun geprioriteerde belangen.

4.2.1 Overheidsorganen

1 Rijksoverheid

In het jaar 2017 zijn er nieuwe veiligheidsnormeringen bepaald voor de primaire waterkeringen door Rijksoverheid. Dit heeft vorm gekregen in de Deltabeslissing Waterveiligheid: de wettelijke verankering van de nieuwe veiligheidsnormering voor 2017. In de Deltabeslissing Waterveiligheid is opgenomen dat alle primaire waterkeringen uiterlijk in 2050 aan de nieuwe norm moeten voldoen. De nieuwe normering horend in het Delta Programma 2017 heeft als gevolg dat in de gebieden waterkeringen moeten worden herzien, zo ook IJburg. Hiervoor wordt een

uitvoeringsprogramma Deltaplan Waterveiligheid opgesteld. Daarbij wordt gekeken naar toepassing van slimme combinaties van verschillende typen maatregelen ("Nationaal Waterplan," 2016).

2 Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat en de waterschappen zijn de waterbeheerders in Nederland (Rijksoverheid, 2015b). Rijkswaterstaat is de uitvoeringsorganisatie van het ministerie van Infrastructuur en Milieu van de Rijksoverheid. Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer van grote wateren, zoals de zee en de rivieren. Rijkswaterstaat is zo ook verantwoordelijk voor het beheer van het water in het plangebied IJburg. Daarnaast is het water ook eigendom van Rijkswaterstaat. Water wat binnen het stedenbouwkundig kader vanuit Gemeente Amsterdam wordt bestemd tot grond, moet een vergunning worden aangevraagd bij Rijkswaterstaat voor permissie.

3 Provincie Noord-Holland

Provincies zijn betrokken bij het waterbeheer in Nederland. De provincie is verantwoordelijk voor de vertaling van het nationale waterbeleid naar regionale maatregelen. Voor een deel van het waterbeheer heeft de provincie operationele taken (Rijksoverheid, 2015b). De Provincie Noord-Holland blijft betrokken op het beleidsniveau om aan de nieuwe normeringen te voldoen.

4 Gemeente Amsterdam

Het College van Burgermeesters en Wethouders maken beleid voor Amsterdam. Dit doen zij onder andere door middel van het uitbrengen van een Structuurvisie 2040, waarin alle beoogde ambities en doelstellingen zijn opgenomen. Dit beleid wordt uitgevoerd door afdelingen die expertise hebben op het specifieke terrein. Dit geldt ook voor beleid met betrekking tot ontwikkelingsgebied IJburg, waarbij het Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam wordt ingeschakeld voor aanleg en onderhoud van het gebied. B&W maken beleid en geven opdracht aan onder andere Ingenieursbureau Amsterdam voor het uitvoeren van dit beleid. Het Ingenieursbureau is verantwoordelijk voor inkoop, techniek en projectrealisatie in grond-, weg- en waterbouw. De taak om waterveiligheid te waarborgen van gemeentelijke gebieden, zoals plangebied IJburg, is daarom ook toegewezen aan Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam, afkomstig van Grond en Ontwikkeling. Het Ingenieursbureau maakt technische ontwerpen en begeleidt de uitvoering. Het is een uitdaging om verschillende divisies van het Ingenieursbureau Amsterdam samen te laten werken om de onderlinge samenhang van verschillende onderdelen te bewaren en een aantrekkelijk woongebied te realiseren. In het kader van dit onderzoek zal de samenwerking binnen het Ingenieursbureau bestaan tussen volgende teams:

- Constructie en Waterbouw: zijn verantwoordelijk voor het technisch ontwerp voor het Dijktraject 13A - IJburg.
- Water, Groen en Milieu: zijn verantwoordelijk voor het behoud van de natuurwaarden binnen de grenzen van het plangebied.

In het kader van dit onderzoek is ook samenwerkingsverband buiten het Ingenieursbureau relevant. Dit is een andere divisie binnen de Gemeente Amsterdam, namelijk:

- Ruimte en Duurzaamheid: is verantwoordelijk voor de beleidsontwikkeling en kaderstelling op het gebied van ruimtelijke ordening, stedenbouw en duurzaamheid voor Gemeente Amsterdam.

5 Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV)

De tweede waterbeheerder van Nederland, naast Rijkswaterstaat, zijn de waterschappen. Waterschappen zijn verantwoordelijk voor de regionale wateren, zoals kanalen en poldervaarten en dus ook verantwoordelijk voor het IJmeer-gebied. Een waterbeheerder heeft als taak om overstromingen te voorkomen. Beheerders van de belangrijkste Nederlandse waterkeringen beoordelen iedere zes jaar of de keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. Deze beoordeling is verplicht volgens de Waterwet. Waternet is een stichting opgericht vanuit Gemeente Amsterdam en Waterschap Amstel, Gooi en Vecht. Waternet is verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van toegewezen objecten. Dijktraject 13A-IJburg is zo'n toegewezen object.

Het waterschap helpt bij de ontwikkeling van IJburg en heeft als kerntaak om het gebied voldoende waterstaatkundige veiligheid te bieden en is daarbij verantwoordelijk voor de beoordeling. Het waterschap zal de primaire keringen beoordelen aan de hand van de nieuwe normen en benodigde versterkingsmaatregelen opnemen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma. De beoordeling wordt gedaan met behulp van Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI), opgesteld door het rijk en eerder beschreven in Hoofdstuk 2 (Waterschap Amstel Gooi Vecht, 2015).

4.2.2 Particuliere organisaties

6 Natuur- en milieuorganisaties

a Natuurmonumenten

Bij de bouw van de eerste fase van IJburg hebben Gemeente Amsterdam, provincie Noord-Holland en Natuurmonumenten extra geld geïnvesteerd in natuurprojecten op en rond IJburg via het Natuurontwikkelingsfonds IJmeer (NOF-IJ) (Timar, 2014). Dit convenant is opgesteld naast de verplichte natuurcompensatie, omwille van de natuurwaarden. Natuurmonumenten is een particuliere non-profit natuurbeschermingsorganisatie en speelt in Nederland een grote rol bij het beheer van natuurgebieden. Zij hebben als doel om gebieden die belangrijk zijn voor bepaalde planten en dieren, veilig te stellen om zo de biodiversiteit te behouden.

De geslaagde samenwerking in het verleden met de opzet en uitvoering van Natuurontwikkelingsfonds IJmeer, zou een mogelijke samenwerking in het heden niet uitsluiten. Daarnaast heeft het verleden gebleken dat Natuurmonumenten een geduchte tegenstander kan zijn, maar ook een belangrijke invloedbare partner met financiële middelen.

b SOVON

In Hoofdstuk 2 zijn de komst van de mosselbanken toegelicht met als doel een dat watervogels kunnen foerageren wat ten goede komt van de Natura 2000 doelstellingen. Sinds de komst van de mosselbanken worden de vogels in het gebied gemonitord door organisatie Sovon. Sovon Vogelonderzoek Nederland is een non-profit organisatie in Nederland die het voorkomen en de ontwikkeling van Nederlandse vogels bijhoudt. Zoals de andere drijfveren van de milieuorganisaties is ook voor Sovon ondersteuning van natuurbeleid, -beheer en -bescherming van belang. Het bedrijf beschikt over veel kennis en expertise zowel van het gebied als van belangrijke natuurwaarden.

7 Bedrijven

De andere tak van particuliere organisaties zijn profit-organisaties, oftewel organisaties met een winstoogmerk en een commercieel belang. Met betrekking tot de waterproblematiek wordt de focus gelegd op bedrijven met een recreatieve voorziening. Deze bedrijven kunnen in het ontwerp een stimulans geven of tegenwerking creëren. Het gebied IJburg heeft vergeleken met Amsterdam als geheel weinig bedrijvigheid. Ondernemers geven aan dat het moeilijk is om op IJburg een goede omzet te halen in een verzorgingsgebied met 20.000 inwoners (Zanen et al., 2011). Ze doen beroep op recreanten onder andere van buitenaf. Maar de bedrijven gericht op de watersport beschikken over een succes bepaalde conditie, namelijk voldoende wateroppervlak om de watersporten uit te oefenen. De recreatieve functies zijn toegelicht in Hoofdstuk 2. De corresponderende bedrijven zijn:

- a Watersportclub IJmeer;
- b Zeilschool IJmeer;
- c Jachthaven IJburg;
- d Horeca Blijburg.

Naast de bedrijven met de recreatieve functies is er een belangrijke actor in het speelveld: de uitvoerder van het project. Gemeente Amsterdam is de opdrachtgever en zal het project ontwerpen en hierbij een geschikte opdrachtnemer contracteren voor de uitvoering.

e Aannemer

4.2.3 Personen

De laatste categorie onder de stakeholdergroepen is personen. Voor deze categorie wordt onderscheidt gemaakt tussen twee stakeholders namelijk: bewoners IJburg en recreanten.

8 Bewoners IJburg

Momenteel wonen er in IJburg eerste fase 20.000 mensen (Gemeente Amsterdam, 2009). Een belangrijke maatstaf voor deze doelgroep is de tevredenheid van het wonen oftewel het welzijn en welvaart van de inwoner van IJburg. Voor het welzijn is het een vereiste dat alle inwoners veilig worden gesteld tegen overstromingen. Andere elementen die belangrijk zijn voor het welzijn van de bewoners is een kwalitatief ruimtelijke inrichting van het gebied. Recreatieve voorzieningen en een gebied met hoge natuurwaarden speelt hierbij een grote rol. Voor de welvaart is voor de inwoners van belang dat de huizenprijs stijgt. Dit strookt met het belang voor een hoogkwalitatief ruimtelijke inrichting van het plangebied.

In Hoofdstuk 3 is onderzoek verricht naar de waterveiligheidsstatus voor waterkering op Haveneiland West. Geconcludeerd is dat een waterveiligheidsmaatregel noodzakelijk is en deze tenminste bestaat uit een ophoging dijkprofiel over de gehele lengte van 1400 meter. Aangrenzend aan dit profiel (minder dan 100 meter afstand) bevinden zich woningen. Dit is te zien in onderstaand Figuur 4-1.



Figuur 4-1: Berthaanstrakade; dijkprofiel Haveneiland West – IJburg

De aanpassing van de dijk heeft consequenties voor het uitzicht van de bewoners waardoor hun beschreven belang, welzijn en welvaart, in het geding kan komen. Op het moment is besluitvoering over een soortgelijk casus gaande. De Markermeerdijken tussen Hoorn en Durgerdam (33 kilometer) zijn niet sterk genoeg om de polder in extreme omstandigheden te beschermen. Het Hoogheemraadschap heeft samen met aannemers een plan gemaakt om de dijken te verbeteren, maar dat stuit op veel verzet van bewoners. Zij vrezen dat de dijk een forse inbreuk zal maken op het dorpsgezicht. De boze bewoners eisten daarom politieke aandacht voor een alternatief plan voor dijkversterking. Veel overleg is met de bewoners gevoerd en op dit moment zijn er nog geen conclusies getrokken uit de te verrichten plannen (Algemeen Dagblad, 2017). De onrust in Durgerdam geeft aan dat de bewoners een groot belang hebben en een hoge mate van invloed op de besluitvorming.

9 Recreanten

Zoals beschreven in Hoofdstuk 2 paragraaf 2.4 Recreatie, is de IJburgbaai een geschikt gebied om recreatieve functies uit te oefenen en wordt hier ook volop gebruikt van gemaakt. Niet alleen inwoners van IJburg besteden hier hun vrije tijd, ook inwoners van Amsterdam, toeristen en mensen uit de omgeving komen naar IJburg om gebruik te maken van de goede condities voor watersport en natuur.

Dat het gebied goede potentie biedt voor verschillende recreatieve functies is duidelijk. Hieronder worden de recreanten verder gespecificeerd. Door de specificering van recreanten is er ook onderscheid in de bijhorende belangen. Deze zijn gepresenteerd in Tabel 4-1: Overzicht stakeholders: belangen met betrekking tot het ontwerp.

- a Kite- en windsurfers;
- b Wandelaars;
- c Fietzers;
- d Zeilers;
- e Boot passanten;
- f Zwemmers.

Tabel 4-1: Overzicht stakeholders: belangen met betrekking tot het ontwerp

Nr.	Stakeholder-groep	Stakeholder	Belang
1	Rijksoverheid	Ministerie van I&M	Waterkering voldoet aan vereiste norm
2		Rijkswaterstaat	Eenvoudig beheer- en onderhoudbaarheid van water
3	Provincie	Provincie Noord-Holland	Waterkering voldoet aan vereiste norm
4	Gemeente	Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam	Kwalitatief technisch ontwerp voor waterveiligheid waarbij samenhang van verschillende onderdelen worden bewaard en een aantrekkelijk woongebied wordt gerealiseerd
5	Waterschap	Waterschap AGV	Eenvoudig beheer- en onderhoudbaarheid van ontwerp
6	Milieuorganisaties		
6a		Natuurmonumenten	Behouden of vergroten biodiversiteit plangebied
6b		Sovon	Ondersteuning natuurbeleid, -beheer, -bescherming
7	Bedrijven		
7a		Surfclub	Voldoende wateroppervlak met goede wind condities
7b		Zeilschool	Voldoende wateroppervlak met goede wind condities
7c		Jachthaven	Goede bereikbaarheid Jachthaven
7d		Blijburg	Goede bereikbaarheid Blijburg
7e		Aannemer	Uitvoerbaar technisch ontwerp
8	Bewoners	Bewoners IJburg	Welzijn en welvaart bewoners
9	Recreanten		
9a		Kite- en windsurfers	Voldoende wateroppervlak met goede wind condities
9b		Wandelaars	Hoogwaardige wandelroutes
9c		Fietsers	Hoogwaardige fietsroutes
9d		Zeilers	Voldoende wateroppervlak met goede windcondities
9e		Boot passanten	Geen verstoring vaarroutes
9f		Zwemmers	Veilige en voldoende zwemplaatsen

4.2.4 Overeenkomstige en conflicterende belangen

Doordat de stakeholders zijn geïdentificeerd en hun belangen in kaart zijn gebracht is er inzicht gegenereerd waaruit kan worden vastgesteld of er een basis is voor samenwerking tussen actoren door gemeenschappelijke belangen. Het tegenovergestelde is ook mogelijk, belangen kunnen conflicterend zijn en kunnen bedreigingen zijn voor het project.

Er kan worden geconcludeerd dat de belangen met betrekking tot het projectontwerp grofweg zijn in te delen in drie functies met bijhorende doelstellingen:

- Waterveiligheid: de waterkering dient te voldoen aan de vereiste waterveiligheidsnorm 2017;
- Ecologie: het ontwerp dient de ecologische waarden van het plangebied te verhogen;
- Recreatie: het ontwerp dient de recreatieve waarden van het plangebied te verhogen.

De stakeholdergroeperingen met bijhorende geprioriteerde belangen zijn weergegeven in Tabel 4-2.

Tabel 4-2: Primaire en secundaire functies ontwerp

		Waterveiligheid	Ecologie	Recreatie
1	Rijksoverheid			
2	Provincie			
3	Gemeente			
4	Rijkswaterstaat			
5	Waternet			
6	Milieuorganisaties			
7	Bedrijven			
8	Inwoners			
9	Recreanten			

Het ligt voor de hand dat samenwerkingsverbanden mogelijk lijken bij actoren binnen eenzelfde geprioriteerd belang. Het doel van het onderzoek is inzicht te genereren bij het creëren van functionaliteiten voor het ontwerp om waterveiligheid te waarborgen. Vastgesteld is door de stakeholderanalyse dat de functionaliteiten voor het ontwerp stroken met de drie geprioriteerde belangen. Uit deze belangen stromen behoeften van de stakeholders die kunnen worden gezien als wensen met betrekking tot het ontwerp. Deze worden toegelicht in volgend hoofdstuk: Hoofdstuk 5 Oplossingsrichtingen.

Een beoogd doel is om belangen van stakeholders met elkaar te verbinden en zoveel mogelijk belangen te behartigen waardoor het ontwerp meerwaarde creëert. Een uitdaging voor natuur en recreatie. Recreatie kan leiden tot ongewenste effecten op de natuur en de aanwezige plant- en diersoorten. Dit geldt met name voor de effecten die komen door de verstoring door recreanten op kwetsbare plekken en tijden. Een uitdaging voor de ontwerpalternatieven om recreatie en natuur samen te kunnen laten gaan waardoor meerdere belangen kunnen worden behartigd. De uitkomsten worden gepresenteerd in Hoofdstuk 6 Building with Nature-type oplossingen.

Een andere mogelijke koppeling is het commercieel belang en recreatief belang. In het ontwerp zullen mogelijkheden kunnen ontstaan om recreatie een positieve stimulans te geven wat ten goede komt voor de activiteit op in het plangebied en vervolgens voor het winsttoogmerk van de bedrijven. Ook kan deze combinatie voor belangenverstrengeling zorgen. Wanneer het ontwerp een obstakel voor het recreëren in het gebied vormt, zal dit negatief effect hebben op de activiteit en daaropvolgend bedrijvigheid voor de sector.

Om uiteindelijk inzicht te genereren voor de opdrachtgever Gemeente Amsterdam om een keuze in een oplossingsvariant te verantwoorden is het van belang om inzicht te creëren in de mate van invloed en mate van belang van iedere stakeholder. Dit wordt beschreven in de volgende paragraaf.

4.3 Stakeholders en hun positie

De waterveiligheidsopgave van Nederland is een complexe opgave en kent een samenspel van betrokkenen, die afhankelijk van elkaar zijn bij de uitvoering van hun rol en taak. Naast de betrokkenen van de waterveiligheidsopgave worden betrokkenen gecombineerd met andere belangen als natuur en recreatie. Het is van belang om de positie en de rol van de betrokkenen duidelijk in kaart te brengen met bijkomende verantwoordelijkheden en bevoegdheden.

De werkrelatie tussen de waterschappen onderling en tussen Rijkswaterstaat en de waterschappen vormt de kern voor samenwerking op het gebied van waterveiligheid (Spoor, Verkenning, Sijpkens, & Wilt, 2013). Rijkswaterstaat en waterschappen zijn de waterbeheerders van Nederland. Voor het ontwikkelingsgebied IJburg is Waterschap Amstel Gooi en Vecht verantwoordelijk voor waterveiligheid en voeren toetsingen hiervoor uit. Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer van het water. De waterbeheerders hebben de bevoegdheid om de uitvoerders aan te spreken op hun verantwoordelijkheid om aan de door Rijksoverheid gestelde normen voor waterveiligheid te voldoen. Voor deze casus geldt dat Waternet, onderdeel van Waterschap Amstel Gooi en Vecht en Gemeente Amsterdam, eindverantwoordelijk is voor de uitvoering van de toetsingen van de kering. Dit is ook de aanleiding geweest voor het onderzoek, namelijk de gestelde vraag wat Gemeente Amsterdam voor waterveiligheidsmaatregel stelt ten gevolge van de verandering van besluit met betrekking tot het laatste eiland Buiteneiland. Naast het toetsen van de kering, zal Waternet in de toekomst verantwoordelijk zijn voor het beheer van de versterkende maatregel voor de waterkering.

De verantwoordelijkheid van Gemeente Amsterdam voor het oplossen van de waterveiligheidsproblematiek maakt de Gemeente opdrachtgever van het project. In naam van Gemeente Amsterdam maakt het Ingenieursbureau van de Gemeente Amsterdam de technische ontwerpen en begeleidt bij de uitvoering. Voor de uitvoering van het project wordt een aannemer gecontracteerd. De eindverantwoordelijkheid voor het ontwerp is afhankelijk van de afspraken die tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer worden gemaakt met betrekking tot het technisch ontwerp. Bij het aanleveren van een technisch ontwerp met gespecificeerde eisen door de opdrachtgever, zal de opdrachtgever ook verantwoordelijk zijn voor het ontwerp.

Met het oog op de doelstelling van het onderzoek is het belangrijk om actoren met betrekking tot natuur en recreatie samen te laten werken om de onderlinge samenhang van verschillende onderdelen te bewaren om vervolgens een aantrekkelijk gebied te realiseren. Natuur- en milieuorganisaties als Natuurmonumenten en Sovon, kunnen steun bieden (of weerstand) bij het project. Dit door samenwerkingen aan gaan. Daarnaast kunnen zij door hun expertise ook waardevolle informatie bevatten en een consulterende rol innemen.

De laatste groep actoren wordt gezien als het brede publiek. Deze betrokkenen dienen geïnformeerd te worden over de besluiten van het project. Het brede publiek bestaat uit de bedrijven, bewoners van IJburg en de recreanten.

4.3.1 Financiële verantwoordelijkheid

Gemeente Amsterdam is verantwoordelijk voor de consequenties naar aanleiding van veranderd beleid. Dit houdt in dat Gemeente Amsterdam verantwoordelijk is voor de veranderde status van de waterkering Haveneiland West en voor de gemaakte kosten voor het voldoen aan de veiligheidsnormering van de kering.

Als het scenario zich voordoet dat dijkverzwaring noodzakelijk was enkel ten gevolge van implementatie van de nieuwe normering, dan worden aanpassingen voor dijkversterking opgenomen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma uitgevoerd en financiert door Rijksoverheid. Hierbij geldt dat de dijkverzwaring sober en doelmatig wordt uitgevoerd om de kosten te minimaliseren.

4.3.2 Mate van invloed en belang

Niet alle geïdentificeerde stakeholders hebben dezelfde mate van invloed en mate van belang in de waterveiligheidsproblematiek. Dit is een belangrijk uitgangspunt bij het vaststellen van acties die op basis van de analyse worden genomen.

Figuur 4-2 geeft de mate van belang en invloed van iedere stakeholder weer in een diagram. Op de horizontale as en verticale as is de mate van belang, respectievelijk, mate van invloed weergegeven. In het diagram wordt onderscheid gemaakt tussen vier actiepunten met betrekking tot de betrokkenen van het project:

- **Nauw contact mee onderhouden:** hoge mate van belang, hoge mate van invloed;
- **Tevreden houden:** lage mate van belang, hoge mate van invloed;
- **Informeren:** hoge mate van belang, lage mate van invloed;
- **Monitoren:** lage mate van belang, lage mate van invloed.

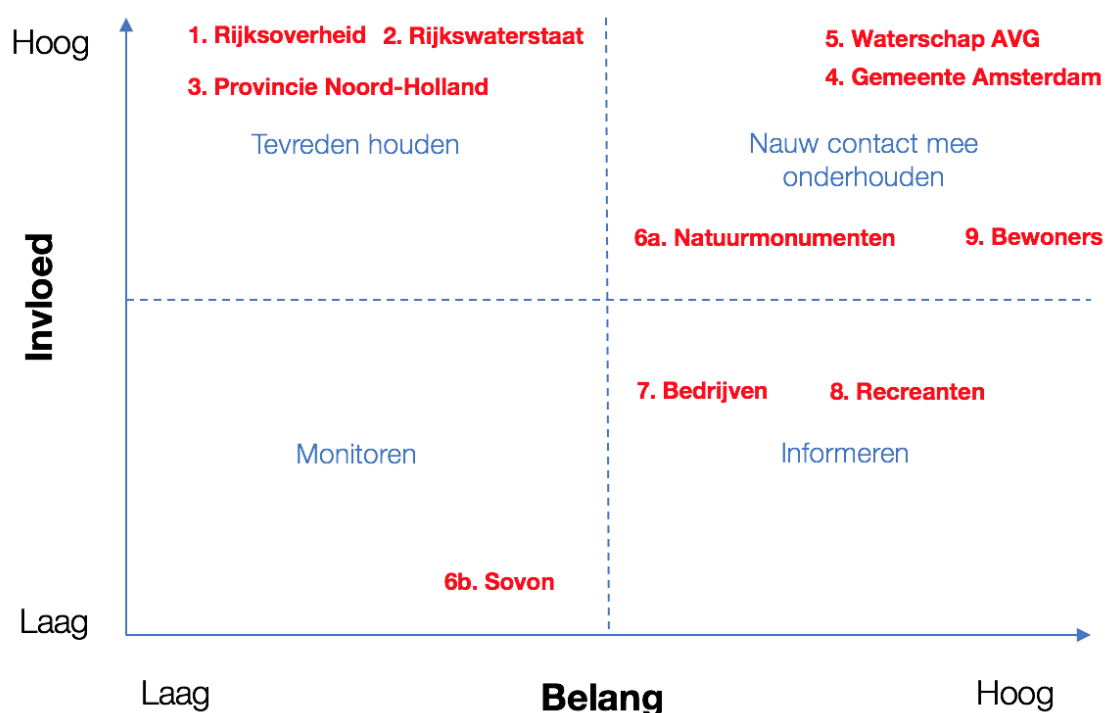
De actoren waarbij geadviseerd wordt om nauw contact mee te onderhouden en goed in de gaten moeten worden gehouden worden ook wel de sleutelfiguren van het project genoemd. Voor de waterproblematiek IJburg zijn dit Gemeente Amsterdam en Waterschap Amstel Gooi en Vecht (AGV). Waterschap AGV is de waterbeheerder en voert de toetsing van de kering uit waarbij Gemeente Amsterdam verantwoordelijk is voor waterveiligheid. Voor Gemeente Amsterdam is het als opdrachtgever de taak om de waarden van waterschappen in rekening te brengen, met name gerelateerd aan de kerntaken toetsing van waterkering en werkzaamheden met betrekking tot beheer van het watergebied. Eenmaal als de maatregel is ontworpen en geïmplementeerd is Waterschap AGV verantwoordelijk voor het beheer van de maatregel. Hierdoor speelt de goedkeuring van Waterschap AGV een belangrijke rol in het ontwerp.

Specifiek worden de Natuurmonumenten tot sleutelfiguren genoemd. In het verleden is gebleken dat de nauwe samenwerking tussen Natuurmonumenten, Gemeente Amsterdam en de Provincie Noord-Holland heeft geleid tot succesvolle samenwerkingen wat betreft natuurontwikkeling. Door onder andere de omvang van het project en de omvang en geografische ligging van het gebied, biedt het mogelijkheden voor natuurontwikkeling waardoor een samenwerking met een partij als Natuurmonumenten als succesvol zou kunnen uitpakken.

De tweede onderscheiding in het diagram heeft als actiepunten actoren tevreden te houden. Dit zijn actoren met een lage mate van belang en een hoge mate van invloed. Dit zijn voor deze casus Rijksoverheid, Provincie Noord-Holland en Rijkswaterstaat. Met betrekking tot de technische ontwerpen, uitgevoerd door Gemeente Amsterdam, is het van belang de normen en doelstellingen van deze partijen in acht te houden. Anders dan Waterschap AGV is Rijkswaterstaat de beheerder van het water in plaats van de waterkering. Hierbij worden lagere eisen gesteld en is het belang voor Rijkswaterstaat met betrekking tot het waterkering minder groot dan voor Waterschap AVG.

Figuur 4-2 toont rechtsonder het deelvak 'informer' wat inhoudt dat de stakeholders in het onderzoek een hoge mate van belang en een lage mate van invloed hebben. Hieronder vallen de stakeholders bedrijven en recreanten, ook wel het brede publiek genoemd. Wensen van deze stakeholders worden geïnventariseerd en zo veel mogelijk nagestreefd. Bewoners horen ook onder categorie 'breed publiek'. Echter, is de mate van invloed van bewoners voor deze casus hoger dan voor recreanten en bedrijven. Eerder in paragraaf 4.2 wordt de casus Markermeerdijken besproken. Hier hebben bewoners voor veel opstand en vertraging in besluitvorming gezorgd. De inwoners worden direct benadeeld door de aanpassing van het dijkprofiel in hun uitzicht op IJburgbaai. Hierdoor is hun belang groter en doordat de kering over de gehele lengte wordt aangepast worden veel bewoners benadeeld. Bewoners worden dan ook gerekend tot sleutelfiguren van het project waar nauw contact mee dient te onderhouden.

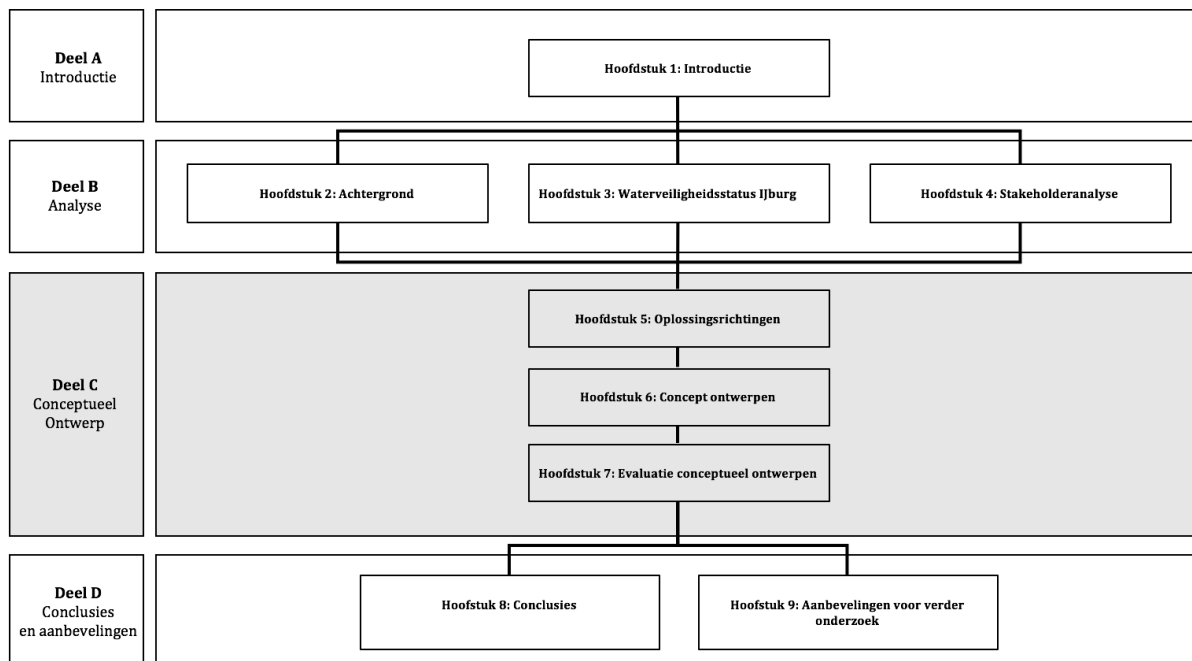
De laatste categorie zijn de stakeholders die gemonitord moeten worden. Dit zijn de stakeholders waar de minste moeite in moet worden gestoken. Hier valt organisatie Sovon onder. Sovon is een onafhankelijke organisatie die de monitoring doet van watervogels in het gebied. De organisatie bevat veel kennis en kan daarom als consulterende rol worden opgenomen.



Figuur 4-2: Mate van invloed en belang per stakeholder

Deel C

Conceptueel Ontwerp



5

Oplossingsrichtingen

In dit hoofdstuk worden de oplossingsrichtingen voor de waterveiligheidsproblematiek IJburg gepresenteerd. Het opstellen van een set van eisen, randvoorwaarden en wensen geeft richting aan een oplossing en definieert de basis voor evaluatie van de oplossingsvariant. Een goed programma van eisen met heldere prestatie-eisen en randvoorwaarden is de basis voor een succesvol ontwerp. De eisen, randvoorwaarden en wensen worden als volgt gedefinieerd:

- **Eisen:** doelstellingen die minimaal behaald dienen te worden;
- **Randvoorwaarden:** geven de grenzen aan die niet mogen worden overschreden en vormen zo een kader waarbinnen het project plaats kan vinden. Aan de randvoorwaarden moet altijd worden voldaan om andere beleidsmatig vastgestelde functies niet negatief te beïnvloeden;
- **Wensen:** dit zijn behoeften van betrokkenen in het project die niet direct volgen uit de minimaal te behalen doelstellingen maar wel meerwaarde kunnen toevoegen aan het project. Wensen dienen zo passend mogelijk geïntegreerd worden in het project, mits zij niet conflicterend zijn met de gestelde eisen en randvoorwaarden.

In de eerste paragraaf worden de eisen en wensen vanuit de primaire functie van het project gedefinieerd. In de tweede paragraaf worden de randvoorwaarden van het project gepresenteerd waarna in de laatste, derde, paragraaf de eisen en wensen van de secundaire functies worden gepresenteerd.

5.1 Eisen en wensen vanuit de primaire functie; waterveiligheid

5.1.1 Eisen

De norm is de toelaatbare overstromingskans van een dijktraject. De norm wordt uitgedrukt in de ondergrens of signaleringswaarde. De veiligheidsnormen voor primaire keringen zijn opgenomen in de Waterwet en beschreven in het Nationaal Basisbestand Primaire Waterkeringen (NBPW)(Rijksoverheid, 2017c).

- De signaleringswaarde is de maximaal toelaatbare overstromingskans van een dijktraject waarvan overschrijding gemeld moet worden aan de Minister van Infrastructuur en Milieu en is voor IJburg 1:300 per jaar.
- De ondergrens is de overstromingskans van het dijktraject die hoort bij het minimale beschermingsniveau dat de kering moet bieden en is voor IJburg 1:100 per jaar.

5.1.2 Wensen

Naast de waterveiligheidseis worden de waterbouwkundige ontwerpprincipes gedefinieerd, ofwel de wensen vanuit de primaire functie waterveiligheid. Dit zijn eisen voor specifieke aspecten van het te ontwikkelen ontwerp, die een indirecte bijdrage leveren aan de primaire functie. De oplossing is succesvol als het in hoge mate voldoet aan het verwezenlijken van de wensen (Slinger, 2016b).

Redelijke kosten

- Het minimaliseren van de investering, -beheer en -onderhoudskosten. Echter, de keuze van de toe te passen materialen mag nooit ten kosten gaan van de waterveiligheid.

Structurele integriteit

- Het ontwerp dient te worden gebouwd met geschikt materiaal en op passende wijze om instabiliteit of onbalans te voorkomen, maar toch zijn weerstand te kunnen bieden tegen belasting. Dit vereist het behoud van structurele integriteit: sterkte, stabiliteit en stijfheid. De structuur moet op zijn plaats blijven.

Betrouwbaarheid

- Het ontwerp dient goed te blijven functioneren en vereist niet veel reparaties en onderhoud. Over het algemeen geldt dat hoe eenvoudiger het ontwerp is, hoe groter de kans dat deze betrouwbaar is.

Implementeerbaarheid

- Het ontwerp dient haalbaar en redelijk te zijn om te construeren en te exploiteren. Beproefde en geteste methoden hebben over het algemeen de voorkeur boven geheel nieuwe ontwerpwijzen.

Aanpassingsvermogen

- In de ontwerpfase dient rekening te houden met toekomstige veranderingen in de functie van de waterkering. Hierbij kan worden gedacht aan een verandering van het peilbesluit wat de waterkerende functie van de waterkering beïnvloed.

Veerkracht

- Het ontwerp dient over de capaciteit te beschikken om een tweede plotseling hoge belasting te kunnen weerstaan zonder dat dit ten kosten gaat van de structurele integriteit en het voldoen aan de functionele vereiste.

5.2 Randvoorwaarden

Systeemgrenzen

- De maatregel dient binnen de systeemgrenzen van de Gemeente Amsterdam te bevinden.

Beheer en werkzaamheden

- Werkzaamheden met betrekking tot beheer binnen de systeemgrenzen en tot landmaken van Centru-meiland en Middeneiland moeten kunnen worden verricht.

Veiligheid

- Het ontwerp dient zichtbaar te zijn voor watersporten, recreatie- en scheepvaart.

Water

- Geen negatief effect op de ecologische chemische doelen door Kaderrichtlijn Water;
- Geen negatief effect op de waterkwaliteit binnen het systeem gebied Gemeente Amsterdam.

Scheepvaart

- Behoud bereikbaarheid van Jachthaven IJburg;
- Geen verstoring van recreatieve vaarrouten zoals vaarrouten naar Pampus eiland en Durgerdam;
- Geen verstoring vaargeul Amsterdam-Lemmer.

Natuur

- Geen negatief effect op de opgestelde instandhoudingsdoelstelling IJmeer-Markermeer van Natura 2000.

Recreatie

- Behoud recreatieve functies van het gebied (kite- en windsurfen, zeilen, varen, zwemmen, kanoën) door behouden van de huidige golf- en windcondities en voldoende beschikbaar wateroppervlak.

5.3 Wensen vanuit de secundaire functie ecologie

Om de functionele integriteit van het ecosysteem te handhaven wordt bij het ontwerpen ecologische ontwerpprincipes toegepast. De ecologische ontwerpprincipes kunnen ook gedefinieerd worden als ecologische wensen voor het ontwerp. Het combineren van de waterbouwkundige en ecologische ontwerpprincipes is essentieel om tot een 'Building-with-Nature'-type oplossing te komen. Bij het in acht nemen van de ecologische ontwerpprincipes wordt het ecosysteem behouden, hersteld of wordt het ecosysteem van kansen voorzien. In deze sub paragraaf worden de ecologische ontwerpprincipes, ofwel, de wensen vanuit de secundaire functie voor het ontwerp, ecologie, toegelicht (Slinger, 2016a).

Continuïteit

- Een ecosysteem kan goed verbonden zijn of erg gefragmenteerd. Het ontwerp dient het ecosysteem verbonden te houden. Een verbonden ecosysteem maakt de uitwisseling van zowel levende als niet-levende soorten mogelijk.

Geen directe menselijke storing

- Het ontwerp dient de directe menselijke verstoring te minimaliseren of te voorkomen omwille de verstoring van het ecosysteem tegen te gaan.

Endogeniteit

- Mate van doordringing van exotische soorten in een ecosysteem. De voorkeur ligt bij een hoog aantal vertegenwoordiging van inheemse soorten dan het koloniseren van exotische soorten. Exotische soorten kunnen een bedreiging zijn voor overleving van de inheemse soorten. Daarom dient het ontwerp bij voorkeur de inheemse soorten voordeel te bieden in plaats van de exotische soorten.

Levensvatbaarheid populatie

- Een populatie is een lokaal verbonden groep, van dezelfde soort, leefbaar op een specifiek gebied. De levensvatbaarheid van een populatie wordt bepaald door reproductie, groei- en sterftecijfers en grootte. De populatiegrootte moet een kritische drempel overschrijden om te overleven. Het ontwerp dient de levensvatbaarheid van de populaties niet te bedreigen maar in plaats daarvan kansen bieden voor bedreigde populaties.

Kansen voor bedreigde soorten

- Bedreigde soorten zijn soorten die specifiek worden geïdentificeerd als soorten waarvan het vermogen om levensvatbare populaties in stand te houden, wordt aangetast. Dit kan te wijten zijn aan verlies van habitat. Hydraulische infrastructuur kan bedreigde soorten helpen door bijvoorbeeld nieuwe habitatten te creëren en de connectiviteit te herstellen. Dit criterium richt zich specifiek op soorten waarvan bekend is dat het voortbestaan wordt bedreigd en niet op het garanderen van de levensvatbaarheid van de populatie van alle soorten op een bepaalde locatie, verschillend van bovenstaand criterium.

Voedselweb integriteit

- Ecosystemen zijn complexe netwerken waarin materie, energie en levende wezens samenwerken. Een volledig representatief voedselweb vertoont interacties tussen producenten (planten en fytoplankton), consumenten (bijvoorbeeld vogels, vissen) en decomposers (micro-organismen en insecten) die de energiestroom binnen het systeem handhaven. Als sleutelsoorten ontbreken, wordt de integriteit van het voedselweb geschaad en is het ecosysteem niet langer gezond.

Kansen voor ecologische successie

- Ecologische successie is de natuurlijke verandering in de soortensamenstelling van een ecosysteem in de loop van de tijd. Opvolging vindt plaats wanneer organismen het milieu op zodanige wijze veranderen dat habitatten worden gecreëerd voor andere soorten. Het ecosysteem bereikt zijn climaxtoestand wanneer tertiaire vegetatie (zoals bos) volledig is gevestigd. Volgens dit principe moeten er kansen zijn voor het dynamische proces en dient het ontwerp deze voor elke fase aan te bieden, van pionier tot climax.

Karakteristieke (in) organische cycli

- Dit principe heeft betrekking op de integriteit van de doorvoer van koolstof, stikstof, fosfor en silicium in een ecosysteem. Anorganische en organische cycli die volledig representatief zijn en die goed functioneren, ondersteunen het karakter en het functioneren van het ecosysteem. Wanneer de cirkels worden verstoord kan het karakter en het functioneren van het ecosysteem veranderen.

Karakteristieke fysisch-chemische waterkwaliteit

- Waterkwaliteitsparameters zoals temperatuur, zoutgehalte en opgeloste zuurstof hebben een sterke invloed op het functioneren van het aquatisch ecosysteem. Dit principe heeft als doel de waterkwaliteit te behouden.

Veerkracht

- Een ecosysteem is veerkrachtig wanneer het beschikt over het vermogen om zijn integriteit te behouden of zich te herstellen na een verstoring. De gevolgen van een verstoring zijn afhankelijk van de duur, grootte en frequentie van optreden. Het ecosysteem wordt als kwetsbaar beschouwd als het karakter en de functionele integriteit al na kleine verstoringen wijzigen.

6

Building with Nature-type oplossingen

In dit hoofdstuk worden de oplossingsvarianten gepresenteerd aangaande de ontstaande waterveiligheidsproblematiek in IJburg. In de opvolgende paragrafen worden de vijf BwN alternatieven afzonderlijk per paragraaf gepresenteerd. Dit wordt gedaan op basis van een beschrijving van het alternatief, het technisch ontwerp en op welke wijze met het ontwerp wordt voldaan aan de waterveiligheidsnormering. Vervolgens worden de extra functionaliteiten en de BwN aspecten van de oplossingsvarianten opgesomd en toegelicht. Deze verschillen per ontwerp. In paragraaf 6.6 wordt een overzicht gegeven van de karakteristieken van de alternatieven en de BwN aspecten samengevat. Tot slot, om een inzicht in de alternatieven te vergroten worden in de laatste paragraaf, paragraaf 6.7, de sterkten, zwakten, kansen en bedreigingen van iedere Building-with-Nature-type oplossing gepresenteerd.

6.1 ‘IJmeer Wadden’

IJmeer Wadden wordt een natuurgebied (18 ha) ter hoogte van voormalig Buiteneiland bestaande uit zand, klei en slib. Figuur 6-1 geeft een illustratie van het ontwerp. Achter het eiland ontstaat een schaduwzone doordat Noordoostelijke golven niet ongestoord het eiland kunnen passeren richting Haveneiland West. Het natuurgebied met zandplaten, slikvelden en rietoevers is geschikt voor onder andere mossels, slakjes en waterinsecten. De waterdieren zijn voedsel voor vogels zoals broedvogel visdief en niet-broedvogels als kuifeenden, tafeleenden, nonnetjes, toppereenden en meerkoeten die tevens een Natura 2000 instandhoudingsdoelstelling hebben. Daarnaast is de locatie van het natuurgebied een uitgelezen plek om voor de vogels te ruien en te rusten na het foerageren op de naastgelegen mosselbanken. Naast een gebied vol leven draagt het bij aan een betere waterkwaliteit in het IJmeer door gebruik te maken van slib uit de Oergeul. De ontwerpfilosofie van ‘IJmeer Wadden’ is afkomstig van een bestaand project Marker Wadden. Marker Wadden zijn natuureilanden met natuurlijke oevers gemaakt van zand, klei en slib in het IJmeer-Markermeer (Melissen & Schut, 2013). Marker Wadden is een voorbeeld van een BwN-project en wordt toegelicht in Appendix A.



Figuur 6-1: Illustratie IJmeer Wadden

6.1.1 Technische ontwerp

De schaduwzone wordt gecreëerd door een noordoostelijke stortstenen strekdam aansluitende op de bestaande strekdam. Dit is te zien in Figuur 6-2. Figuur 6-2 presenteert een bovenaanzicht van het ontwerp – donkergroen

gearceerd - van IJmeer Wadden. Het figuur geeft een huidige weergave van de stedelijke ontwikkeling en een schets van de toekomstige ontwikkeling van het Centrumeiland (bruin gearceerd) en Middeneiland (blauw gearceerd). De niet fysiek zichtbare elementen als de mosselbanken en Oergeul zijn gearceerd. Zij zijn relevant voor het ontwerp en worden nader toegelicht in de volgende paragraaf. Figuur 6-3 toont het principe profiel van het ontwerp en bevat de volgende waterbouwkundige elementen:

- Oostelijk gelegen strekdam, ruwe zijde: harde constructie waarbij zanddam is verdedigd met stortsteen;
- Westelijk gelegen zanddam, luwe zijde: zachte constructie van zand;
- Compartiment slib te midden van de zanddammen.

Strekdam ruwe zijde

De oostelijk gelegen strekdam aansluitend op Natuureiland beschermd IJburg fase 1 tegen de maatgevende golfaanval vanaf het oostelijk gelegen IJmeer-Markermeer. Door de strekdam worden de golven gereduceerd en wordt een schaduwzone gecreëerd. Hierdoor is in Hoofdstuk 3 onderzocht scenario 4 representatief. De vereiste kruinhoogte voor Haveneiland West is 1.90 meter, mits de oplossing de schaduwzone creëert voor het hele kering. De huidige kering Haveneiland West voldoet nagenoeg met een kruinhoogte van 1.85 meter. Verder onderzoek wordt aanbevolen naar de mate waarop de kruinhoogte van 1.85 meter voldoende is voor waterveiligheidseisen bij dit conservatief ontwerp.

Een vereiste voor het ontwerp is dat het eiland eenzelfde schaduwzone creëert als Buiteneiland doet voor maatgevende golfcondities vanuit Noordoost. Dit betekent dat de lengte van de strekdam 560 meter is. Deze afmeting geeft eenzelfde reductie van de golfslag als het eiland Buiteneiland, namelijk, voor ieder deel van de kering Haveneiland West wordt de strijklengte gereduceerd naar een maximale strijklengte van de IJburgbaai. Daarnaast wordt de lengte bepaald door de specificaties voor het natuurgebied waarbij met slib wordt gewerkt. Dit wordt toegelicht in de volgende paragraaf 6.1.2, waar verder wordt ingegaan op de ecologische aspecten van het ontwerp.

Zandige talud luwe zijde

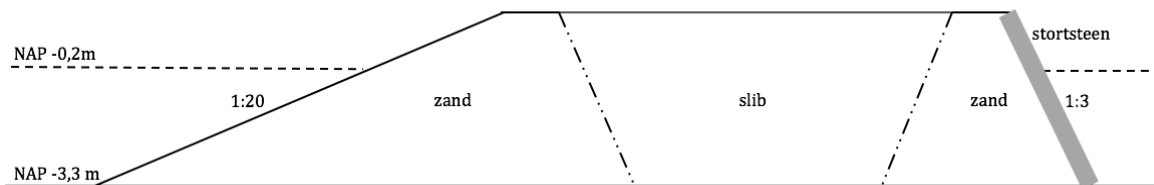
De westzijde, ook wel de luwzijde van het ontwerp, wordt geen harde verdediging toegepast maar wordt zand aangebracht met een flauwe helling. De oriëntatie van het ontwerp maakt het mogelijk om zand in te sluiten binnen twee strekdammen ter voorkomen van sediment verlies als gevolg van sediment-langs transport veroorzaakt door de dagelijkse wind- en golfcondities komend uit Zuidwest (zie Appendix E: Informatie IJburg).

Compartiment slib

Het eiland is bestemd voor natuur en vereist geen woningbouwspecificaties. Hierdoor kan er gebruik worden gemaakt van slib als landmaak grondstof en bestaat de kern van het eiland uit slib afkomstig uit de Oergeul. Het slib wordt ingedamd binnen zanddammen, dit wordt een atol genoemd. Deze zanddammen beschikken over een minimale helling waardoor er voor de randen van het atol een grote hoeveelheid zand nodig is. Daarnaast is een minimale hoeveelheid slib vereist voor voldoende effectiviteit op de waterkwaliteit door de slibvang. In volgende paragraaf wordt verder ingegaan op het gebruik van slib met betrekking tot verbetering van de waterkwaliteit.



Figuur 6-2: BwN alternatief 1; IJmeer Wadden



Figuur 6-3: Principeprofiel 1; zandig talud (rechts), compartiment slib (midden), strekdams (links)

6.1.2 Verwachte ecologische effecten

■ Herstel natuurlijk evenwicht onder water o.a. door afvangen van slib uit Oergeul

De bouw van tweede fase van IJburg vormt door de positionering van de eilanden een baai. Deze wordt IJburgbaai genoemd. Uit een interview met expert op het gebied van fijn sediment en morfologie Deltares (B. van Maren, persoonlijke communicatie, 17 januari 2017), vormt het toekomstige ontwerp IJburg een kwetsbaar systeem met betrekking tot waterkwaliteit. In de huidige situatie functioneren de mosselbanken naar behoren: de calorische waarden van de Quagga-mosselen zijn hoog en de mosselen maken het water voldoende helder. Hierdoor groeien waterplanten welke een versterkend effect hebben op de slibvang. Echter, met de komst van Middeneiland en de vorming van een baai, wordt uitstroom van slib beïnvloed. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat IJburgbaai als een opvangbassin voor slib fungeert. De Oergeul, gevuld met slib afwijkend van de rest van de IJmeer-Markermeer bodem, kan de vertroebeling van het water door slib versterken. De vertroebeling van het water is een bedreiging voor de werking van de mosselbanken doordat de banken bedolven worden onder het slib en de effectiviteit van de waterzuivering van de banken afneemt. Hierdoor wordt de voedselketen onder water van algen, plankton, kleine waterdieren, vissen en vogels verstoord en vormt dit een bedreiging voor het natuurlijke evenwicht. In het ontwerp wordt met de aanleg van een Natuureiland het natuurlijk evenwicht hersteld door de sliblaag op te vangen en aan te trekken door de aantrekkende werking voor slib door het ontwerp. Het toekomstige Natuureiland dient als een mitigerende maatregel tegen het kwetsbare systeem van slib op de mosselbanken evenals een verbetering voor de waterkwaliteit en doorzicht van het water.

Het opgespoten slib in het toekomstige ontwerp komt oorspronkelijk uit de Oergeul. Het slib in de Oergeul wordt afgevangen en gebruikt als materiaal voor het eiland. Daarnaast wordt de Oergeul gebruikt als opvanglocatie voor de natuurlijke stroming van het slib, waarna slib zich in de geul positioneert. Dit slib kan vervolgens verder worden getransporteerd naar het toekomstig ontwerp, ook genoemd als het Natuureiland, en klinkt het slib in. Dit proces wordt herhaald voor een uiteindelijk plas-dras resultaat wat een uitiem habitat vormt voor diverse vogels en vissen. De mogelijkheid bestaat om de Oergeul in de IJburgbaai na de slibvang af te dekken met zand. Na de werkzaamheden komt de IJburgbaai weer tot leven. De mosselbanken kunnen optimaal functioneren door het fijnste slib uit het water te filteren. Het gebruik van het slib brengt een natuurlijk evenwicht met goed functionerende mosselbanken.

■ Toevoeging moerasgebied creëert broed-, rui- en rustplaatsen voor watervogels



Figuur 6-4 Pilot moeras in pioniersfase 2 jaar na aanleg (Dankers, Wichman, & van Kerkvoorde, 2015)

De toevoeging van moerasgebied aan het Natuureiland creëert een vogelgebied waar op internationale schaal behoefte aan is. Dit is ook te herleiden naar de instandhoudingsdoelstellingen van Natura 2000 (Zwart, 2008). Creatie van broed-, rui- en rustplaatsen voor watervogels wordt extra gestimuleerd doordat het gebied niet begaanbaar is voor mensen en door de aanwezigheid van de nabijgelegen mosselbanken. Daarnaast is het eiland functioneel doordat het geïsoleerd is waardoor grondpredatoren zoals ratten en vossen niet aanwezig zijn en broedvogels zich kunnen nestelen (Roos, van Eerden, & van Rijn, 2005).

■ Afname slibgehalte zorgt voor toename watervogels (Ruurd Noordhuis et al., 2014)

Het verlagen van het slibgehalte in het systeem veroorzaakt een hoger doorzicht van het water waardoor een grotere filtratie van het licht in het water en op de bodem mogelijk is. Dit heeft een positief effect op de groei van waterplanten en algenproductie. Quagga mosselen filteren de algen uit het water en draagt hierdoor bij aan het bio volume van de

Quaggamossel. Meer waterplanten en hogere bio volume Quaggamossel leidt tot meer voedsel voor vis en herbivoren, visetende en mossel etende vogels (Ruurd Noordhuis et al., 2014).

- Afname slibgehalte goed voor natuurlijke filtercapaciteit (Knoben et al., 2015)

In de IJburgbaai vervult de Quaggamossel een natuurlijk zuiveringsproces door de zuiverende functie. Naar verwachting door de afname van het slibgehalte zal een toename van de hoeveelheid mosselen zorgen voor een verbeterd natuurlijke filtercapaciteit in de IJburgbaai.

- 'Stepping-stone': versterking Natuur Netwerk Nederland

De strategische ligging van het ontwerp biedt de mogelijkheid dat het eiland kan fungeren als een 'stepping stone'. Stapstenen zijn ecologische verbindingen die worden gemaakt door geïsoleerde gebieden met elkaar te verbinden. Plant- en dierenpopulaties die te ver uit elkaar liggen voor uitwisseling met de omgeving kunnen via een stapsteen worden verbonden. Verdere ontwikkeling van nieuwe natuur door samenbundeling van functies en areaalvergroting door middel van toepassing van de stepping stone theorie kan een sterker netwerk opleveren dan nu bestaat (Roos et al., 2005).

- Gradiënt land-water

Geleidelijke overgangen van land naar water zijn van grote betekenis. In het verleden is gebleken dat het IJmeer-Markermeer omsloten was met harde constructies waardoor het ecosysteem niet optimaal functioneert. Vanuit een biodiversiteitsinsteek zijn de land-waterovergangen van groot belang omdat deze nieuwe biotopen en habitatten toevoegen. Land-waterovergangen creëren slikken, plas-drassituaties, waterriet-moeras en oevervegetaties. Land-waterzones dragen bij aan een veerkrachtig ecologisch systeem door: het vergroten van diversiteit en duurzaamheid van levensgemeenschappen in het meer (vis), het versterken en toevoegen van oevergebonden natuurwaarden (riet- en moerasvogels) en het verbinden van geïsoleerde populaties oevergebonden soorten (zoogdieren, Ringslang) (Knoben et al., 2015).

6.1.3 Verwachte recreatieve effecten

- Natuurbeleving voor bezoekers

Bij de aanleg en inrichting van het natuureiland wordt bovenal de focus gelegd op het creëren van de natuurwaarden door het aanleggen van een moeraszone. Moerassen zijn een trekpleister voor toeristen en een recreatiegebied voor stadsbewoners. Het eiland zal toegankelijk zijn voor bezoekers aan de luwzijde. Verdere deel van het eiland wordt afgesloten om verstoring van natuur te vermijden en hierdoor natuur rust te geven, bijvoorbeeld voor broedende vogels. De grootte en omvang van het eiland maakt het mogelijk dat zowel recreatie als natuur samen kunnen gaan.

6.2 'Zandbank'

Met de oplossingsvariant Zandeiland wordt een kunstmatig opgespoten zandbank (7 ha) ter hoogte van voormalig bedoeld Buiteneiland, zie Figuur 6-5. De zandbank dempt maatgevende Noordoostelijke golven waardoor waterkering Haveneiland West niet hoeft te worden versterkt. Het zand is afkomstig vanuit de aangelegde overhoogte op Middeneiland fase 2. Hierdoor wordt werk met werk gemaakt en zijn de kosten gereduceerd. Van de Zandbank kunnen wind- en kitesurfers gebruik maken en dient het dynamisch ontwerp als een recreatie-eiland. 's Winters, als er minder watersporten worden beoefend op het IJmeer, kunnen vogels gebruik maken van het eiland als rui- en rustgebied. Daarnaast zal door deze mogelijkheid zal het zandeiland een versterkend effect hebben op het foerageren van vogels op de aangelegde mosselbanken volgens expert ecologie van Gemeente Amsterdam (M. Backerra, persoonlijke communicatie, 20 maart 2017).



Figuur 6-5: Illustratie Zandbank

6.2.1 Technische ontwerp

De golven afkomstig uit het IJmeer-Markermeer zullen worden gedempt door de aanlegging van een Zandbank en er wordt tevens hiermee een schaduwzone gecreëerd in IJburgbaai. Hiervoor wordt een bulk zand aangelegd. Dit is te zien in Figuur 6-5 en Figuur 6-6. Figuur 6-6 presenteert een bovenaanzicht van het ontwerp (geel) de Zandbank. Het figuur geeft een huidige weergave van de stedelijke ontwikkeling en een schets van de toekomstige ontwikkeling van het Centruimeiland (bruin) en Middeneiland (blauw) en de niet fysiek zichtbare mosselbanken (grijs). Figuur 6-6 toont het principe profiel van het ontwerp. Te zien is een bulk zand bovenwater en zandige taluds onderwater.

Bulk zand met zandig talud

Hoe de zandbank de rol als wering kan vervullen, is sterk afhankelijk van de hoeveelheid en korrelgrootte van het sediment. Het technisch ontwerp bestaat uit een bulk zand en wordt niet verstevigd door stortstenen bekleding. Hierdoor is het eiland een dynamisch ontwerp. Dit betekent dat het veranderlijk is van vorm door de optredende fysische processen als het afkalven van zand door golfslag en erosie door sediment langstransport. Het bulk zand zal door stroming en golfslag afkalven en afvlakken en verliest zijn vorm en hoogte. Dit proces is inherent aan het reducerende effect van de opnemende golfenergie voor het beschermen van IJburg tegen storm.

Het met enige regelmaat opspuiten van zand is noodzakelijk als actiepoint voor beheer. Afvlakking van het ontwerp is geen verspilling van het materiaal doordat het zand niet het grensgebied van Gemeente Amsterdam verlaat. Aanbevolen voor verder onderzoek zou de frequentie en hoeveelheid zand opspuiten kunnen worden onderzocht naar aanleiding van afkalving en erosie van het ontwerp. Wanneer deze effecten zich overmatig voordoen zullen beperkende maatregelen worden genomen zoals het creëren van een luwtedam, bekleding van de randen of extra zandsuppletie.

Het profiel dat wordt opgespoten voor de zandbank verschilt in helling van een standaard profiel van een verdedigde kering. Het standaard profiel en het profiel dat wordt opgespoten verschilt alleen in de helling van het talud onderwater. Deze is flauwer omdat het zand niet in staat is om in een steilere helling van 1:4 te blijven liggen. Onderwater is de helling 1:20 (Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam, 2017).

De hoeveelheid benodigd zand is afhankelijk van de golfenergie en de stabiliteit van het ontwerp. Uitgaande van een afschermende werking van voormalig Buiteneiland, is er uitgegaan van een minimale dwarslengte van het ontwerp van 400 meter. Dit heeft een minimale kruinhoogte van 1 m+NAP na zetting van ondergrond en de consolidatie van het zand in de eindfase. Het conceptueel ontwerp bevat een oppervlakte van 7 hectare.

Voor een initieel ontwerp zijn waarden en gegevens ontleend van een definitief ontwerpstudie voor het landmaken van Middeneiland fase 2 uitgevoerd door Ingenieursbureau Amsterdam wat hetzelfde toepassingsgebied betreft als Buiteneiland. Het gebruik maken van deze gegevens is een reële schatting voor een voorstudie met betrekking tot deze thesis. Het optimaliseren van het technisch ontwerp wordt aanbevolen voor verder onderzoek, zie Hoofdstuk 9.

Zand afkomstig uit aangelegde overhoogte Middeneiland

Voor landmaken van Middeneiland wordt een overhoogte aan zand aangelegd. Op basis van de berekende grondwaterstanden is het gewenste minimale maaiveldniveau in de eindfase bepaald. De overhoogte zand voor Middeneiland wordt gebruikt om zetting te veroorzaken en het proces te versnellen. In gesprek met waterbouwkundig

experts Gemeente Amsterdam is er een mogelijkheid om het zand beschikbaar te stellen voor andere doeleinden wanneer de eindtoestand is bereikt (S. Post, persoonlijke communicatie, februari 2017). Het zand afkomstig uit de overhoogte van Middeneiland wordt gebruikt voor het ontwerp wat kosten bespaard door de beschikbaarheid van materiaal en materieel op locatie. Daarnaast heeft het ontwerp als uitgangspunt dat het opspuiten van zand een onderdeel van het beheer omdat de zandbank geen harde bekleding heeft. Door het zand te gebruiken uit de aangelegde overhoogte van Middeneiland heeft het wel de consequentie dat de aanleg van het ontwerp afhankelijk is van de planning van Middeneiland. Aanbevolen voor verder onderzoek wordt een aansluitende planning voor hoeveelheden beschikbaar zand vanuit Middeneiland voor het construeren van de Zandbank en erosiebestendige maatregelen voor beheer en onderhoud.

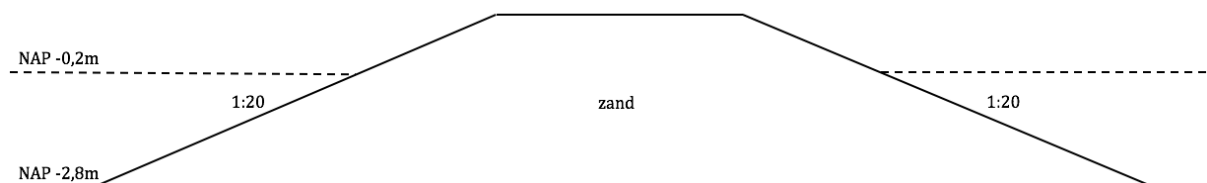
Ontwerpcontouren komen overeen met bestemmingsplan met betrekking tot Buiteneiland

De oriëntatie van het ontwerp bevindt zich binnen de contouren van het toekomstig Buiteneiland dat in het bestemmingsplan is opgenomen. Dit betekent dat de zandbank tevens kan dienen als een eerste fase van werkzaamheden voor het opspuiten van land voor het aan te leggen eiland. De kosten worden uiteindelijk aanzienlijk gereduceerd door werk met werk te combineren. Zo worden materiaal en werkzaamheden voor het verplaatsen van de overhoogte van Middeneiland en materiaal en werkzaamheden voor het aanleggen van een maatregel voor waterveiligheidsproblematiek gecombineerd en tevens een eerste start gemaakt voor toekomstig ontwerp van Buiteneiland. Bij voltooiing van besluitvorming met betrekking tot definitief ontwerp Buiteneiland IJburg uit het bestemmingsplan, kan het ontwerp dienen als een eerste deel voor land maken.

Naast besparing van de kosten is er ook een voordeel met betrekking tot de implementeerbaarheid van het ontwerp. Doordat het ontwerp niet afwijkt van het bestemmingsplan vergemakkelijkt dit het proces en hoeft het bestaande bestemmingsplan niet worden gewijzigd.



Figuur 6-6: BwN alternatief 2; Zandbank



Figuur 6-7: Principeprofiel 2; Bulk zand boven water (midden) met zandig talud (rechts en links)

6.2.2 Verwachte ecologische effecten

■ Broed-, rui- en rustplaats watervogels

De kale zandbanken dienen als broed- rust- en ruigebied voor watervogels. De beperkte menselijke verstoring, doordat het eiland niet te voet te bereiken is (vooral 's winters als weinig watersport activiteit zal plaatsvinden) heeft een gunstig effect voor de aantrekkings van watervogels. Daarnaast ligt de zandbank naast de mosselbanken welke dienen als foerageergebied. Bij natuurontwikkeling door middel van zandopspuitingen worden vooral ecotopen ontwikkeld uit de oeverzone, dus in de gradiënt ondiep water-land. Watervogels profiteren goed van dit soort projecten omdat

hiermee nieuwe rustgebieden worden gecreëerd. Viseters, die graag rusten op zandplaten en eilanden kunnen in grote aantallen gebruik maken van natuurontwikkeling. Zandopspuitingen bewerkstelligen in de vorm van onbegroeide eilanden uitstekende mogelijkheden voor gezamenlijke slaapplekken voor Visdief en Zwarte Stern (Roos et al., 2005).

■ Pioniersvegetatie zandplaat

Doordat een grote hoeveelheid zand boven water uitsteekt, en deze maar geleidelijk wegspoelt, biedt dat kansen voor het ontstaan van nieuwe, maar wel tijdelijke natuur. De platen zijn kaal of begroeid met pioniervegetatie als gevolg van de sterke morfologische dynamiek. In ondiep, onder water staande delen groeien, bij voldoende lichtinstraling, algen, die als voedsel dienen voor macrofauna soorten zoals slakken en larven (Deltares, 2017). De zandplaten vormen het leefgebied voor ingravende insecten. Deze macrofauna soorten vormen het voedsel voor vissen en vogels.

■ Land-waterovergangen

Dit effect is toegelicht in vorige paragraaf 6.1.3.

■ ‘Stepping stone’

Dit effect is toegelicht in vorige paragraaf 6.1.3.

6.2.3 Verwachte recreatieve effecten

■ Recreatie-eiland voor watersport

Uit een interview met Stedenbouwkundig expert van Gemeente Amsterdam werkzaam voor IJburg fase 2 (E. Reith, persoonlijke communicatie, 1 februari 2017) biedt de zandbank veel mogelijkheden voor recreatie. Het zou een stimulerend effect geven op het al ontwikkelde recreatieve gebied en dan met name voor watersporters als kite- en windsurfers. In het verleden is gebleken dat onbebouwde aan water gelegen gebieden door omwonenden wordt gebruikt voor watersport doeleinden. De bouw van IJburg, met de onbebouwde zandeilanden, was hier een voorbeeld van. Door de verstedelijking van Amsterdam is de vraag naar meer recreatie plaatsen groot. Doordat de zandplaat niet bereikbaar is via land zal het gebruik minder worden verwacht dan is gebleken bij de bouw van de aangelegde zandplaten van IJburg-eilanden van fase 1 in het verleden. Desalniettemin, wordt verwacht dat er veel gebruik zal worden gemaakt van de zandplaat, vooral in de zomermaanden. Zwemmers, wind- en kitesurfers kunnen het gebied gebruiken waardoor het eiland kan dienen als een ‘watersporteiland’.

6.3 ‘Zandeiland’

Zandeiland gaat uit van dezelfde principes als in de vorige paragraaf gepresenteerde Zandbank. Echter, het verschil is dat Zandeiland niet over een geheel dynamisch karakter beschikt als Zandbank. Bestorting van breuksteen is toegepast aan de ruwe zijde van Zandeiland tegen maatgevende noordoosten golfcondities afkomstig van het IJmeer-Markermeer, zie Figuur 6-8. De luwzijde van het eiland heeft geen breukstenen verdediging en beschikt over een zachte kering van zandig talud. Het eiland kan fungeren als watersporteiland voor kite- en windsurfers en is bestemd voor natuur met voldoende ruiplekken en rustgebied en open water voor watervogels.



Figuur 6-8: Illustratie Zandeiland

6.3.1 Technische ontwerp

De golven worden gedempt door Zandeiland en er wordt tevens een schaduwzone gecreëerd in IJburgbaai. Hiervoor wordt een bulk zand aangelegd omsloten aan de ruwe zijde met stortsteen. Dit is te zien in Figuur 6-9. Figuur 6-9 presenteert een bovenaanzicht van het ontwerp (geel) de Zandbank. Het figuur geeft een huidige weergave van de stedelijke ontwikkeling en een schets van de toekomstige ontwikkeling van het Centrumeiland (bruin) en Middeneiland (blauw) en de niet fysiek zichtbare mosselbanken (grijs). Figuur 6-9 toont het principe profiel van het ontwerp en bevat de volgende waterbouwkundige elementen:

- Oostelijk en noordelijk gelegen strekdam, ruwe zijde: harde constructie waarbij zanddam is verdedigd met stortsteen;
- Bulk zand bovenwater;
- Westelijk gelegen zandig talud, luwe zijde.

Strekdam ruwe zijde

Zoals gepresenteerd in Figuur 6-9 is de ruwe zijde van het ontwerp omsloten met een stortstenen strekdam. De noordoostelijk gelegen strekdam aansluitend het bulk zand beschermd IJburg fase 1 tegen de maatgevende golfaanval vanaf het oostelijk gelegen IJmeer-Markermeer. Door de strekdam worden de golven gereduceerd en wordt een schaduwzone gecreëerd. In Hoofdstuk 3 is onderzocht dat de primaire waterkering voldoet bij de aanwezigheid van Buiteneiland bij toepassing van de nieuwe normering. Het creëren van een schaduwzone over de gehele lengte van de kering volstaat dus als een oplossing. Derhalve, een vereiste voor het ontwerp is dat het eiland eenzelfde schaduwzone creëert als Buiteneiland doet voor maatgevende golfcondities vanuit Noordoost. Dit betekent dat de lengte van de strekdam 800 meter bedraagt. Deze afmeting geeft eenzelfde reductie van de golfslag als het eiland Buiteneiland, namelijk, voor ieder deel van de kering Haveneiland West wordt de strijklengte gereduceerd naar een maximale strijklengte van de IJburgbaai. De oriëntatie is bepaald door de contouren van voormalig Buiteneiland en de specificatie eisen voor het insluiten van het zand van het zandig talud. Dit wordt verder toegelicht in volgende alinea.

Zandige talud luwe zijde

De westzijde, ook wel de luwzijde van het ontwerp, wordt geen harde verdediging toegepast maar wordt zand aangebracht met een flauwe helling. De oriëntatie van het ontwerp maakt het mogelijk om zand in te sluiten binnen twee strekdammen ter voorkomen van sediment verlies als gevolg van sediment-langs transport veroorzaakt door de dagelijkse wind- en golfcondities komend uit Zuidwest (zie paragraaf 6.1.1).



Figuur 6-9: BwN alternatief 3; Zandeiland



Figuur 6-10: Principeprofiel 3; zandig talud (rechts), bulk zand boven water (midden), strekdam (links)

6.3.2 Verwachte ecologische effecten

De verwachte ecologische effecten voor de oplossing zijn gelijk voor oplossing 2: Zandbank en worden in vorige paragraaf nader toegelicht (zie paragraaf 6.2.2).

- Rui- en rustplaats watervogels;
- Pioniersvegetatie zandplaat;
- Land-waterovergangen;
- 'Stepping stone'.

6.3.3 Verwachte recreatieve effecten

De verwachte recreatieve effecten voor de oplossing zijn gelijk voor oplossing 2: Zandbank wordt in vorige paragraaf 6.2.3 nader toegelicht.

- Recreatie-eiland voor watersport.

6.4 'Groenstrand'

In het ontwerp wordt over de gehele lengte van de waterkering Haveneiland West een brede zandoever aangelegd, zie Figuur 6-11. De zandoever is begroeid en loopt geleidelijk af onder water. Het zand breekt de golven en zorgt zo voor een veilige dijk. Ook vinden nieuwe plant- en diersoorten hun nieuwe habitat door de natuurlijke land-water overgang. Naast groen biedt de kering aangrenzend aan de jachthaven IJburg een watersportstrand voor kite- en windsurfers. Door de gehele lengte van de kering een zandige vooroever te plaatsen zijn er tal van mogelijkheden om te recreëren en biedt het mogelijkheid van het vormen van een stadstrand. De oorspronkelijke robuuste uitstraling van de kering door stenen krijgt een groen, dynamisch karakter, en toegang tot het open water. Figuur 6-12 toont een illustratie van dezelfde kering met een zandig talud in plaats van stortsteen. De foto is genomen in een fase van de constructie van de kering voordat de stortstenen bekleding werd.



Figuur 6-11: Illustratie Groenstrand



Figuur 6-12: Illustratie aanbrengen zandige vooroever voor waterkering Haveneiland West

6.4.1 Technische ontwerp

Het huidige ontwerp heeft het karakter van de harde kering, namelijk stortsteen. Dit karakter van een harde kering wordt met dit alternatief veranderd in een zachte kering, namelijk: stortsteen wordt ingeruild voor een zandige oeverdijk met een flauwe helling. Figuur 6-13 presenteert een bovenaanzicht van het ontwerp (geel) Groenstrand. Het figuur geeft een huidige weergave van de stedelijke ontwikkeling en een schets van de toekomstige ontwikkeling van het Centrumeiland (bruin) en Middeneiland (blauw).

Het principe van de oeverdijk is dat het zand wordt ingesloten tussen twee loodrecht op dijk geplaatste strekdammen. Het principe is soortgelijk als het ingesloten zand in oplossing 1 en 3, IJmeer Wadden respectievelijk Zandeiland, waarbij door aanwezigheid en oriëntatie van de strekdammen er geen verlies is van sediment als gevolg van sedimenttransport door golfslag. Het ontwerp is geïnspireerd op de Markermeerdijken en een pilot van de Houtribdijk. Markermeerdijken is een grootschalig project van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier in provincie Noord-Holland waarbij ruim 33 kilometer Markermeerdijken wordt versterkt. De Houtribdijk wordt versterkt door het aanleggen van een zandige vooroever en begroeid met vegetatie. Beide projecten worden toegelicht in Appendix A: Referentieprojecten Building with Nature. Figuur 6-14 toont het principe profiel van het ontwerp en bevat de volgende waterbouwkundige elementen:

- Zandige vooroever op de locatie van de waterkering;
- Stortstenen strekdammen loodrecht op kering.

Zandige vooroever op de locatie van de waterkering

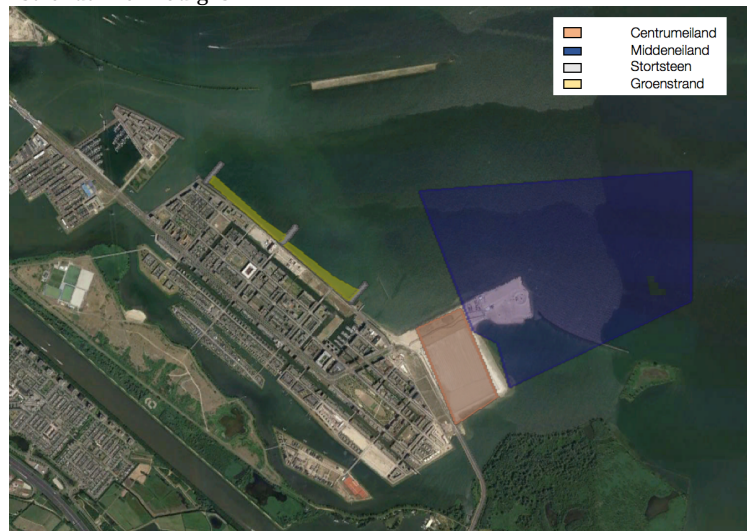
Figuur 6-13 geeft de plattegrond van IJburg weer inclusief de markering van het ontwerp alternatief gearceerd in donkergroen. Het ontwerp bevat een flauwe helling (1:20) waardoor de breedte van het profiel minimaal 100 meter bedraagt. Door de lengte van het talud onder water zullen de mosselbanken in het geding komen en zullen deze moeten worden verplaatst. Het verplaatsen van de mosselbanken zal verder moeten worden onderzocht om onder andere een geschikte locatie vast te stellen en de effectiviteit van de mossels voor waterkwaliteit en foerageerfunctie van de vogels te behouden.

Figuur 6-14 geeft het ontwerpprincipie profiel weer. De kruin van de waterkering zal een hoogte blijven houden van NAP+1.85 meter. Het profiel neemt geleidelijk af met de lengte van de strekdam en aansluiten op de bodem van de IJburgbaai op NAP-2,25 meter. De strekdam zal zich minimaal NAP+1 m boven het waterpeil bevinden en hierdoor zichtbaar zijn voor bootpassanten en watersporters. Deze thesis betreft een voorstudie en worden conceptuele ontwerpen gepresenteerd. Voor een verder uitwerking van dit ontwerp wordt een stromingsonderzoek aanbevolen voor sedimenttransport door golfslag en het afkalven van het talud door golfslag met betrekking tot stormcondities. Verder is van belang de korrelgrootte, zandhoeveelheden, opbouw van het profiel, maatregelen ter beperking voor onderhoud en de inrichtingsmogelijkheden (Rijkswaterstaat, 2016b). Dit wordt aanbevolen voor een detailontwerp mocht de oplossing worden gekozen ter implementatie.

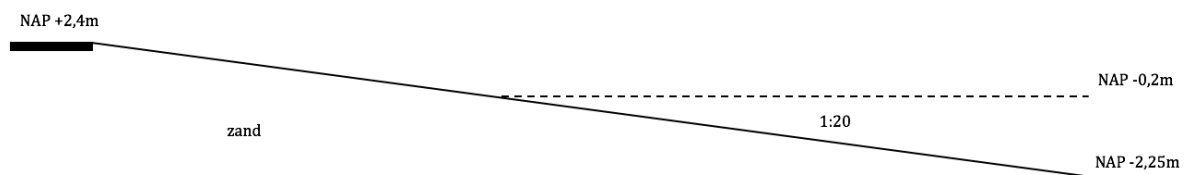
Tenslotte, in de huidige situatie betreft de dijk een aangelegd wandelpad waardoor de dijk gebruikt kan worden voor voetgangers. Echter, door de stortstenen dijkbekleding is er geen toegang tot het water. Door de creatie van de zandige oever wordt directe toegang voor de mens tot de IJburgbaai gecreëerd. Voor het gehele dijkvak wordt de dijk versterkt in een zandige oever wat 1400 meter betreft. De omvang van het project geeft een ander karakter aan het stedenbouwkundig plan en een verhoging aan de ruimtelijke kwaliteit. Het nieuwe ontwerp biedt mogelijkheid voor een aangrenzend stadspark. Stadsparken zijn populair in Amsterdam en in de visie van Gemeente Amsterdam valt terug te zien dat investeren in stadsparken een belangrijke plek inneemt.

Stortstenen strekdammen loodrecht op kering

Voor het tegengaan van verlies van zand van de vooroever dient het zand te worden ingesloten. Dit wordt gedaan door stortstenen strekdammen die zich loodrecht op de kering bevinden. Met betrekking tot deze voorstudie zijn 3 strekdammen geplaatst +1 m+NAP boven water. Het materiaal van de huidige kering bestaat uit stortsteen, het stortsteen wordt verwijderd en herplaatst voor de strekdammen. Dit bespaart materiaal en werkzaamheden kunnen lokaal worden verricht. Voor een detailontwerp wordt de lengte van de strekdammen aanbevolen om te onderzoeken met inachtneming om deze zo kort mogelijk te kunnen aanleggen. Verder is van belang om te onderzoeken de hoeveel lengte waterkering een strekdam er nodig is.



Figuur 6-13: BwN alternatief 4; Groenstrand



Figuur 6-14: Principeprofiel 4; kruin kering (links), zandig talud (rechts)

6.4.2 Verwachte ecologische effecten

■ Land-water gradiënt

Dit effect is toegelicht in paragraaf 6.1.

6.4.3 Verwachte recreatieve effecten

■ Creatie stad- of watersportstrand en stadspark

De stedenbouwkundige visie van IJburg heeft als doelstelling water en stad zo veel mogelijk met elkaar te verbinden. De vorming van een stadstrand en het creëren van een aangrenzend stadspark is een optimale manier om zowel water en groen als natuur en recreatie met elkaar te verbinden. De omvang van het gebied zal veel mogelijkheden treffen om te recreëren voor zowel de inwoners van IJburg en de inwoners van Amsterdam. En verwacht wordt met de toenemende bezoekerscijfers de functie van stadspark steeds sterker wordt en de waardering bij de bezoekers groter.

6.5 ‘Natuureiland’

Natuureiland wordt een natuurgebied (10 ha) op de voormalige locatie van het Buiteneiland, zie Figuur 6-15. Achter Natuureiland ontstaat een schaduwzone doordat Noordoostelijke golven niet ongestoord het eiland kunnen passeren richting Haveneiland West. Natuureiland dient als eerste aanleg voor Buiteneiland, met een omvang groot genoeg om een volwaardige schaduwzone te creëren in de IJburgbaai. Door de eerste aanleg van het Buiteneiland is er geen tijdelijke oplossing noodzakelijk hierdoor worden kosten bespaard. Buiteneiland heeft een beoogd natuurlijk karakter waardoor een deel van het eiland bestemd voor natuur past in de stedenbouwkundige visie. Door de definitieve bestemming van natuur is er een goede kans voor natuurontwikkeling en biedt dit goede potentie vanuit ecologisch oogpunt. Natuureiland is een met breuksteen omsloten eiland van zand en klei en beschikt over plasdras plaatsen door langwerpige eilandencreatie van overjarig riet. De omvang van het eiland creëert voldoende rust- en ruipaatsen voor watervogels en ideaal voor broedvogels door de aanwezigheid van het riet. De locatie van Natuureiland is zeer geschikt als stepping stone in een omgeving van andere eilanden en biedt een goede verbinding van IJburg met Amsterdam-Noord. Ondanks dat het natuureiland niet bestemd is voor mensen, om de natuurontwikkeling een kans te geven, voegt het eiland veel toe aan de totale configuratie van IJburg. De natuur kan volop beleefd worden door natuurliefhebbers in de vorm van recreatievaart.



Figuur 6-15: Illustratie Natuureiland

6.5.1 Technische ontwerp

Door de aanleg van het Natuureiland worden golven gedempt en stelt zich een schaduwzone in voor de IJburgbaai. Berekend is in Hoofdstuk 3 dat wanneer het Buiteneiland is aangelegd, de vereiste kruinhoogte van de kering voldoet. Met dit ontwerp is dus een omvang van een eerste deel van Buiteneiland gewenst dat volstaat voor het dempende effect van golven voor de kering. Door middel van een strijklengte analyse is de omvang bepaald. Deze betreft 10 ha en bevat een omsloten kering van 400 meter. Dit is te zien in Figuur 6-16. Figuur 6-16 presenteert een bovenaanzicht van het ontwerp – donkergroen gearceerd - van Natuureiland. Het figuur geeft een huidige weergave van de stedelijke ontwikkeling en een schets van de toekomstige ontwikkeling van het Centrum-eiland (bruin) en Midden-eiland (blauw) en niet fysiek zichtbaar de mosselbanken (grijs). Figuur 6-17 toont het principe profiel van het ontwerp en bevat de volgende waterbouwkundige elementen:

- Omsloten stortstenen strekdam;
- Compartiment zand; plasdras gebied voor natuurontwikkeling.

Omsloten stortstenen waterkering

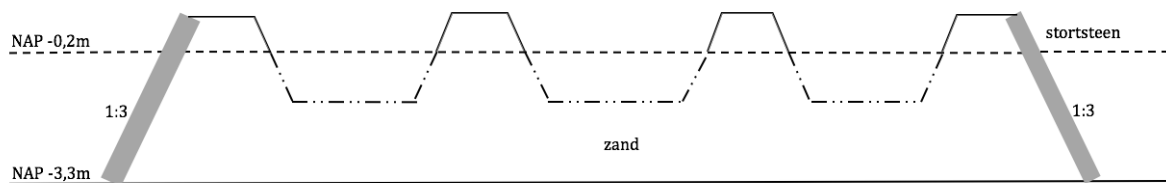
Het Natuureiland wordt omsloten door waterkering. Op het zand wordt een stortstenen talud geplaatst met een helling van 1:3. Dit is voor deze voorstudie en is berust op eerder gedaan onderzoek naar de helling voor de ruwe zijde van Midden-eiland. De totale lengte voor de waterkering betreft 400 meter en heeft eenzelfde profiel.

Compartiment zand en klei; plasdras gebied voor natuurontwikkeling

Figuur 6-17 geeft schematisch weer dat het eiland niet geheel boven het waterpeil ligt. Het Natuureiland bestaat uit zand en klei en in het Natuureiland worden langwerpige eilanden van overjarig riet aangelegd. Dit als geschikte habitat voor specifieke doelsoorten toegelicht in volgende paragraaf. Verder onderzoek wordt aanbevolen betreft de inrichting van het natuurgebied. Zo kan er ook nagedacht worden om gebruik te maken van bijvoorbeeld slibachtig materiaal.



Figuur 6-16: BwN alternatief 5; Natuureiland



Figuur 6-17: Principeprofiel 5; stortstenen strekdam (links), compartiment zand plas-drasgebied (midden), stortstenen strekdam (rechts)

6.5.2 Verwachte ecologische effecten

■ Langwerpige eilanden met overjarig riet

In het natuurgebied worden langwerpige eilanden van overjarig riet gecreëerd. Overjarig riet is riet wat niet elk jaar gemaaid wordt. Door het creëren van eilandjes van riet in water zal het riet met de voeten in het water staan en bevindt in het water veel dynamiek tussen: vis, insecten en waterplanten. De afwisseling van verschillende soorten rietveld (droog en nat) maakt het gebied aantrekkelijk voor rietvogels. Vogelsoorten als roerdomp en grote karekiet profiteren van deze creaties. Maar ook andere moerasvogels, zoals de blauwborst en de snor, en bijvoorbeeld de ringslang maakt gebruik van deze inrichting (T. Post & Monen, 2017).

■ 'Stepping stone' versterking Ecologische Hoofdstructuur

Dit ecologisch effect is toegelicht in paragraaf 6.1.2

■ Rui- en rustplaats watervogels;

Dit ecologisch effect is toegelicht in paragraaf 6.1.2

6.5.3 Verwachte recreatieve effecten

■ Natuurbeleving via scheepvaart

Het gebied is omsloten met harde keringen en om verstoring van natuur tegen te gaan zal het gebied niet toegankelijk zijn voor recreanten. Echter, bevindt het eiland zich in een recreatief waardoor natuurbeleving via passagiersvaart mogelijk is.

6.6 Overzicht karakteristieken BwN alternatieven

Voor het verkrijgen van een helder beeld met betrekking tot de verschillen van de alternatieven geeft Tabel 6-1 een overzicht van de karakteristieken per ontwerp weer (maatregel, locatie, karakter, materiaal, zichtjaar en omvang). Op de volgende bladzijde worden de illustraties van de ontwerpen weergegeven ter verduidelijking (Figuur 6-18, Figuur 6-19, Figuur 6-20, Figuur 6-21, Figuur 6-22).

Tabel 6-1: Karakteristieken BwN alternatieven; maatregel, locatie, karakter, materiaal, zichtjaar en omvang

Oplossing	Maatregel	Locatie	Karakter	Materiaal	Zichtjaar	Omvang
0. Dijkverhoging	Verhogen kruinhoogte	Haveneiland West	Statisch	Zand, breuksteen	Permanent	1400 meter
1. 'IJmeer Wadden'	Creëren schaduwzone	Natuureiland	Statisch + dynamisch	Zand, slib, klei, breuksteen	Permanent	18 ha
2. 'Zandbank'	Creëren schaduwzone	Contouren Buiteneiland	Dynamisch	Zand	Tijdelijk	7 ha
3. 'Zandeiland'	Creëren schaduwzone	Contouren Buiteneiland	Statisch + dynamisch	Zand, breuksteen	Tijdelijk (optie permanent)	7 ha
4. 'Groenstrand'	Zandige vooroever	Haveneiland West	Statisch + dynamisch	Zand, breuksteen	Permanent	1400 meter
5. 'Natuureiland'	Creëren schaduwzone	Contouren Buiteneiland	Statisch	Zand, klei, riet, breuksteen	Permanent	10 ha

Samengevat, berusten de oplossingen op twee verschillende principes om de waterveiligheid te waarborgen zonder dat de kruinhoogte van de primaire waterkering moet worden verhoogd. Dit zijn:

- Het dempen van golfslag door infrastructuur waarbij een schaduwzone in de IJburgbaai wordt gecreëerd; dit is van toepassing op ontwerpen:
 - ❖ 'IJmeer Wadden';
 - ❖ 'Zandbank';
 - ❖ 'Zandeiland';
 - ❖ 'Natuureiland'.
- Het aanleggen van een zandige vooroever voor de huidige kering met een flauw talud; dit is van toepassing op ontwerp:
 - ❖ 'Groenstrand'

In de BwN ontwerpfilosofie wordt uit gegaan van natuurlijke elementen zoals wind, stroming, flora en fauna binnen het waterbouwkundig ontwerp waardoor voordelen kunnen worden geboden voor zowel natuur, recreatie als lokale economie. De dagelijkse windcondities spelen een belangrijke rol in de ontwerpen betreffende onverdedigde zandige taluds. De zandige taluds bieden zowel voordelen voor natuur (land-waterovergangen en rust- en ruiplaatsen voor watervogels) als recreatie (windsurf-, kitesurf-, zwemmogelijkheden en creatie van stadsstrand). Daarnaast is het gebruik van zand in de ontwerpen gewenst doordat zand beschikbaar komt uit een ander project binnen IJburg. Hierdoor worden kosten gereduceerd en werk met werk gemaakt. Naast zand is er ook nagedacht om met slibmateriaal te werken. Het slibmateriaal is aanwezig in het systeemgebied en ongewenst door het negatieve effect op de waterkwaliteit. De mosselen groeien slechter door vlokvorming van algen met slibdeeltjes en verslechterd hierdoor de voedselrijkdom (Knoben et al., 2015). Door het opnemen en verwerken van slibachtig materiaal wordt de waterkwaliteit verbeterd, natuurgebied ontwikkeld en een oplossing geboden op de waterveiligheidsproblematiek. Een laatste belangrijk aspect is het inspelen met het ontwerp op mogelijke beleidsplannen betreft de configuratie van eilanden. Dit kan worden gedaan door het creëren van tijdelijke ontwerpen met een mogelijkheid tot een permanent karakter.

1. 'IJmeer Wadden'



Figuur 6-18: Illustratie 'IJmeer Wadden'

2. 'Zanddam'



Figuur 6-19: Illustratie 'Zanddam'

3. 'Zandeiland'



Figuur 6-20: Illustratie 'Zandeiland'

4. 'Groenstrand'



Figuur 6-21: Illustratie 'Groenstrand'

5. 'Natuureiland'



Figuur 6-22: Illustratie 'Natuureiland'

6.7 Sterkten, zwakten, kansen en bedreigingen ontwerpen

Het is belangrijk om uitvoerig te onderzoeken welk alternatief geschikt is voor implementatie. Dit kan door het inzichtelijk maken van de sterkten, zwakten, kansen en bedreigingen van iedere BwN-type oplossing. Dit is weergegeven in Tabel 6-2.

Tabel 6-2: Overzicht sterkten, zwakten, kansen en bedreigingen van BwN-type oplossingen

Sterkten	Zwakten	Kansen	Bedreigingen
Oplossing 1: 'IJmeer Wadden'			
❖ Gebruik ligging en materialen huidig - Natuureiland is kosteneffectief ❖ Innovatief ontwerp door compartiment slib ❖ Stepping stone functie	❖ Ontwerp contouren afwijkend van bestemmingsplan met betrekking tot Buiteneiland ❖ Onzekerheid toekomstig scenario niet functioneren mosselbanken door ontwikkeling Middeneiland	❖ Herstel natuurlijk evenwicht waterkwaliteit door afvangen slib uit IJburgbaai ❖ Mogelijke samenwerkingen met natuurorganisaties door omvang en potentie project	❖ Kwaliteit slib uit Oergeul moet worden onderzocht voor gebruik ❖ Gebruik van slibmateriaal is een nieuwe techniek met bijkomende onzekerheden
Oplossing 2: 'Zandbank'			
❖ Lage aanlegkosten door beschikbaar zand en eenvoud ontwerp ❖ Mogelijkheden voor watersportdoeleinden ❖ Ontwerpcontouren binnen bestemmingsplan Buiteneiland	❖ Flauwe onderwaterhelling problemen veroorzaken voor scheepvaart doordat deze niet zichtbaar is	❖ Stimulerend effect op watervogels door creëren van mogelijkheid voor rusten na foerageren op nabij liggende mosselbanken	❖ Kans op overmatige erosie waardoor erosie beperkende maatregelen moeten worden genomen als luwtedam, bekleding of extra zandsuppletie
Oplossing 3: 'Zandeiland'			
❖ Mogelijkheden voor watersportdoeleinden ❖ Ontwerpcontouren binnen bestemmingsplan Buiteneiland	❖ Flauwe onderwaterhelling problemen veroorzaken voor scheepvaart doordat deze niet zichtbaar is	❖ Stimulerend effect op watervogels door creëren van mogelijkheid voor rusten na foerageren op nabij liggende mosselbanken	❖ Geen stabiel evenwicht luwe zijde zandig talud
Oplossing 4: 'Groenstrand'			
❖ Creatie van stadsstrand en stadspark ❖ Creatie van land-water overgang door zachte (zandige) dijkbekleding	❖ Verplaatsing mosselbanken noodzakelijk	❖ Stimulans recreatieve activiteiten als natuurbeleving en watersport door grote omvang en mogelijkheden	❖ Weerstand van bewoners door verwachte toenemende drukte ❖ Geen stabiel evenwicht sedimenttransport
Oplossing 5: 'Natuureiland'			
❖ Eerste landmaakeenheid van Buiteneiland ❖ Definitieve natuur ❖ Stepping stone functie	❖ Eiland is geheel omsloten met het type harde kering van stortsteen	❖ Mogelijkheden voor samenwerking met natuurorganisaties door omvang en potentie project	❖ In bestemmingsplan is op de locatie een begraafplaats opgenomen

7

Evaluatie conceptueel ontwerpen

In dit hoofdstuk worden de BwN-type oplossingen geëvalueerd. Dit wordt gedaan in de eerste paragraaf aan de hand van de wensen met betrekking tot de primaire en secundaire functies van het ontwerp gepresenteerd in Hoofdstuk 5 Oplossingsrichtingen. Hierna wordt in paragraaf 7.2 een kosten-baten analyse gepresenteerd. Waarna in paragraaf 7.3 door middel van een multi criteria analyse advies wordt gegeven met betrekking tot een voorkeursoplossing voor de sleutelfiguren gepresenteerd in Hoofdstuk 4 Stakeholderanalyse. In de laatste paragraaf wordt uitspraak gedaan over een voorkeursalternatief voor Gemeente Amsterdam.

7.1 Effect op wensen van primaire en secundaire functies ontwerp

In het onderzoek zijn drie hoofdfuncties van het ontwerp onderzocht namelijk de primaire functie waterveiligheid en secundaire functies ecologie en recreatie. In Hoofdstuk 6 BwN-type oplossingen worden de ontwerpen gepresenteerd met extra functionaliteiten naast het voldoen aan de waterveiligheidseis. De ontwerpen worden geëvalueerd door het in kaart brengen van de mate van het effect op de wensen per primaire of secundaire functie van het ontwerp; waterveiligheid, ecologie en recreatie.

7.1.1 Effect op wensen primaire functie; waterveiligheid

Voor de volgende wensen met betrekking tot de primaire functie waterveiligheid is de mate van het effect bepaald:

- Kosten;
- Betrouwbaarheid;
- Implementeerbaarheid;
- Aanpassingsvermogen;
- Veerkracht.

Tabel 7-1 geeft een overzicht van de mate van het effect per wens. Hierbij geldt voor de notaties: (groen +) positief, (geel 0) neutraal, (rood -) negatief. Informatie per aspect van de primaire functie wordt verder gespecificeerd in Bijlage F: Evaluatie conceptueel ontwerpen.

Kosten kunnen worden onderverdeeld in twee posten, namelijk: investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten. De investeringskosten hangt voornamelijk af in de type en hoeveelheid benodigd materiaal en de complexiteit van de uitvoering. De beheer- en onderhoudskosten hangt af van het benodigd materiaal, materieel en de frequentie van het beheer. In de tweede paragraaf Kosten-baten analyse, worden de investeringskosten gespecificeerd en krijgt dit onderwerp verdere toelichting.

De **betrouwbaarheid** van het ontwerp is afhankelijk van de frequentie benodigde reparaties en onderhoud. Over het algemeen geldt dat hoe eenvoudiger het ontwerp is, hoe groter de kans dat deze betrouwbaar is. Dynamische aspecten in het ontwerp verkleinen de betrouwbaarheid, dat is het geval bij de Zandbank, daartegenover, een statisch ontwerp vergroot de betrouwbaarheid, zoals het Natuureiland.

Beproefde en geteste methoden hebben over het algemeen de voorkeur boven geheel nieuwe en innovatieve ontwerpwijzen met betrekking tot **implementeerbaarheid**. IJmeer Wadden, een innovatief ontwerp door gebruik te maken van het slib is hierdoor risicovol. Uit een interview met Stedenbouwkundig expert van Gemeente Amsterdam werkzaam voor IJburg fase 2 (E. Reith, persoonlijke communicatie, 1 februari 2017) brengt verandering in de

stedenbouwkundige visie discussie teweeg en kan mogelijk een obstakel vormen voor het implementeren van het ontwerp. Dit kan mogelijk aan de orde zijn bij het ontwerp Groenstrand.

Een ontwerp is **veerkrachtig** als het beschikt over de capaciteit om een tweede plotseling hoge belasting te kunnen weerstaan zonder dat dit ten kosten gaat van de structurele integriteit en het voldoen aan de functionele vereisten. Alle ontwerpen beschikken over dit aspect op Zandbank na. Door het geheel dynamische karakter moet zandsuppletie worden aangebracht op het ontwerp.

Tabel 7-1: Effectenmatrix voor wensen primaire functie; engineering

	Kosten	Betrouwbaarheid	Implementeerbaarheid	Aanpassingsvermogen	Veerkracht
0. Dijkverhoging	+	+	+	-	+
1. IJmeer Wadden	-	0	-	-	+
2. Zandbank	+	-	+	+	-
3. Zandeiland	+	0	+	+	+
4. Groenstrand	-	0	0	+	+
5. Natuureiland	0	+	+	-	+

7.1.2 Effect op wensen secundaire functie; ecologie

Voor volgende wensen met betrekking tot de secundaire functie ecologie is de mate van het effect bepaald:

- Continuïteit;
- Geen directe menselijke storing;
- Endogeniteit;
- Levensvatbaarheid populatie;
- Kansen voor bedreigde soorten;
- Voedselweb integriteit;
- Kansen voor ecologische successie;
- Karakteristieke (in) organische cycli;
- Karakteristieke fysisch-chemische waterkwaliteit;
- Veerkracht.

Tabel 7-2 geeft een overzicht van de mate van het effect per wens. Hierbij geldt voor de notaties: (groen +) positief (geel 0) neutraal, (rood -) negatief. Informatie per aspect wordt gespecificeerd in Bijlage F: Evaluatie conceptueel ontwerpen.

Het eerste aspect in de tabel is **continuïteit**. Een verbonden ecosysteem maakt de uitwisseling van zowel levende als niet-levende soorten mogelijk. De voornaamste karakteristieken invloed op deze wens is de stepping stone functie door formatie van eilanden en de aanwezige land-waterovergangen met betrekking tot zandig talud.

Ten gunste van ecologische waarden dient de **menselijke verstoring** geminimaliseerd te worden. Dit is tegenovergesteld aan wanneer gebied bestemd is voor recreëren. Natuur en recreatie samen laten gaan vormt hierdoor een uitdaging. Natuureiland en IJmeer Wadden is (deels) niet toegankelijk voor mensen. De overige ontwerpen liggen de kansen voor de natuur met name in de wintermaanden, als minder watersporten worden beoefend.

Het effect op de **endogeniteit** is positief als het ontwerp voordeel biedt aan inheemse soorten in plaats van exotische soorten. De doelstellingen voor het IJmeer-Markermeer zijn gericht op het in standhouden van watervogels. Dit wordt onder andere gerealiseerd met de aanleg van mosselbanken. Echter, zijn de aanwezige Quaggamossel een exoot maar ten gunsten voor de watervogels. Verder bieden ontwerpen rui- en rustgebieden voor de watervogels in open water.

Het ontwerp dient de **levensvatbaarheid** van de populaties niet te bedreigen maar in plaats daarvan kansen bieden voor bedreigde populaties. Door het realiseren van het Groenstand dienen de mosselbanken verplaatst te worden waardoor een bedreiging kan ontstaan voor de levensvatbaarheid van de mossel. IJmeer Wadden en Natuureiland scoren hoog voor dit effect doordat beide eilanden voor definitieve natuur bestemd is.

In het onderzoek worden specifieke soorten watervogels als het **bedreigde diersoort** gekenmerkt. Dit onder andere door de instandhoudingsdoelstellingen van Natura 2000. Het bieden van rust- en ruigebieden door ontwerpen biedt kansen voor watervogels (Knoben et al., 2015). Tegenovergesteld, het verwijderen van de mosselbanken door het Groenstrand is een bedreiging doordat dit foerageergebieden van de vogels betreffen.

Instandhouding van aanwezige sleutelsoorten is noodzakelijk voor een **integer voedselweb**. Zoals beschreven, liggen kansen in ontwerpen voor het creëren van rui- en rustgebieden voor watervogels. Echter, de toename in de watervogels dient geen overmatig foerageren op de mosselbanken ten gevolge te hebben. De kwantiteit van de Quaggamossel moet niet verloren gaan voor een integer voedselweb.

In de ontwerpen wordt onderscheidt gemaakt tussen tijdelijke natuur en definitieve natuur. Zo heeft het Natuureiland een definitief karakter en heeft het ecosysteem de kans om een climaxtoestand te bereiken, derhalve, **ecologische successie**. Tegenovergesteld zijn ontwerpen met dynamisch elementen. Door sedimenttransport ten gevolge van golfslag heeft ecosysteem geen kans en blijft pioniervegetatie aanwezig. Dit is karakteriserend voor Zandbank, Natuureiland en Groenstrand.

Twee factoren hebben met betrekking van de ontwerpen het voornaamste belang op de **fysische en chemische waterkwaliteit**: slibgehalte en aanwezigheid Quaggamossel. IJmeer Wadden beoogd om het slibgehalte te verminderen door gebruik te maken van slib in het ontwerp en zo de waterkwaliteit te verbeteren. Echter, biedt Groenstrand een bedreiging voor het aquatisch ecosysteem door de afwezigheid van de mosselbanken.

Een ecosysteem is **veerkrachtig** wanneer het beschikt over het vermogen om zijn integriteit te behouden of zich te herstellen na een verstoring. De gevolgen van een verstoring zijn afhankelijk van de duur, grootte en frequentie van optreden. Dit staat in verband met het dynamische of statische karakter van het ontwerp door de frequentie van de verstoring. Hierdoor scoort IJmeer Wadden en Natuureiland op het beste op dit aspect.

7.1.3 Effect op wensen secundaire functie; recreatie

Voor de volgende wensen met betrekking tot de secundaire functie recreatie is de mate van het effect bepaald:

- Natuurbeleving;
- Watersport.

Tabel 7-3 geeft een overzicht van de mate van het effect per wens. Hierbij geldt voor de notaties: (groen +) positief (geel 0) neutraal, (rood -) negatief. Informatie per aspect wordt gespecificeerd in Bijlage E.

Het aspect **natuurbeleving** kan op verschillende manieren worden ingevuld, namelijk: fietsend, wandelend of varende als bootpassagier. IJmeer Wadden heeft aan de luwe zijde van het eiland een voor mens toegankelijk strand. Hier kunnen boten worden aangelegd. Groenstrand heeft door het zandig talud en de vegetatiegroei een natuurlijk uitstraling voor zowel wandelaars als fietsers. Natuureiland is niet toegankelijk voor de mens, echter, passagier vaart kan om het eiland heen varen. Zandeiland en Zanddam zijn niet ingericht voor natuur met ecologische successie, maar wel toegankelijk voor de mens.

De zandige taluds in de ontwerpen IJmeer Wadden, Zandbank, Zandeiland en Groenstrand creëren direct contact met het open water. Dit is ideaal voor **watersporten** als kite- en windsurfen. Daarnaast worden stadsstranden gecreëerd inclusief zwemgelegenheden.

Tabel 7-2: Effectenmatrix voor wensen secundaire functie; ecologie

	Continuïteit	Menselijke verstoring	Endogeniteit	Levensvatbaar heid	Bedreigde diersoorten	Voedselweb integriteit	Ecologische successie	Fysisch- chemische waterkwaliteit	Veerkracht
0. Dijkverhoging	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 'IJmeer Wadden	+	0	+	+	+	+	+	+	+
2. 'Zandbank	+	0	+	+	+	+	0	0	-
3. 'Zandeiland	+	0	+	+	+	+	0	0	-
4. 'Groenstrand	+	-	-	-	-	-	0	-	-
5. 'Natuureiland	+	+	+	+	+	+	+	0	+

Tabel 7-3: Effectenmatrix voor wensen secundaire functie; recreatie

	Natuurbeleving	Watersport
0. Dijkverhoging	-	-
1. 'IJmeer Wadden'	+	+
2. 'Zandbank'	0	+
3. 'Zandeiland'	0	+
4. 'Groenstrand'	+	+
5. 'Natuureiland'	+	0

7.2 Kosten-baten analyse

Gemeente Amsterdam is verantwoordelijk voor het versterken van de primaire waterkering IJburg fase 1. Om advies te kunnen geven aan de opdrachtgever, Gemeente Amsterdam, over een voorkeursalternatief is een kosten-baten analyse uitgevoerd. Hierbij worden de monetaire kosten per alternatief in kaart gebracht met en de baten met betrekking tot ecologie en recreatie gespecificeerd. De uitkomsten zijn weergegeven in Tabel 7-4. De tabel geeft verticaal de rangorde van laag naar hoog met betrekken tot de monetaire kosten per ontwerp over de gehele zichtjaar. De kosten bestaan uit twee posten, namelijk: aanlegkosten en beheer kosten. In Tabel 7-4 wordt enkel een rangorde weergegeven van de goedkoopste oplossing naar de duurste op basis van de investeringskosten. In Appendix E wordt een overzicht gegeven met specifieke kosten per ontwerp. Horizontaal worden de baten gepresenteerd. De baten zijn onderverdeeld in ecologische baten en baten met betrekking tot recreatie. Uit de ontwerpen worden de volgende belangrijkste ecologische baten gespecificeerd:

- Waterkwaliteit systeemgebied (vermindering slibgehalte);
- Kansen voor bedreigde diersoorten (met name aantrekking watervogels IJmeer-Markermeer);
- Ecologische verbinding (stapsteen voor verbinding met natuurgebied Amsterdam-Noord);
- Land-waterovergangen.

De recreatieve baten kunnen worden onderverdeeld in volgende categorieën:

- Watersportactiviteiten (met name kite- en windsurfen, zwemgelegenheden);
- Natuurbeleving (zowel wandelaars, fietsers als bootpassanten en recreatievaart).

Tabel 7-4: Kosten-Baten rangorde alternatieven

Kosten		Rangorde (op basis van aanlegkosten)		Baten Ecologie				Baten Recreatie	
Aanleg	Beheer en onderhoud			Water-Kwaliteit	Bedreigde diersoorten	Ecologische verbinding	Land-water overgangen	Watersport	Natuurbeleving
+	+	1.	'Dijkverhoging'	-	-	-	-	-	-
+	-	2.	'Zandeiland'	-	+	+	+	+	+
+	-	3.	'Groenstrand'	-	-	-	+	+	+
+	-	4.	'Zandbank'	-	+	+	+	+	+
-	+	5.	'Natuureiland'	-	+	+	-	-	+
-	-	6.	'IJmeer Wadden'	+	+	+	+	+	+

Er kan geconcludeerd worden dat de **dijkverhoging** de goedkoopste maatregel betreft op basis van de investeringskosten. Echter, het ontwerp biedt geen ecologische of recreatieve baten. Daarnaast dient opgemerkt te worden dat de ophoging van de kruinhoogte van de waterkering een permanente wijziging van het dijkprofiel betreft. Bij het alsnog aanleggen van het Buiteneiland, is de ophoging niet vereist en ongewenst.

Zandeiland is het goedkoopste alternatief uit de BwN alternatieven en beschikt alle ecologische en recreatieve baten op de verbetering van het fysisch en chemische waterkwaliteit van het systeemgebied na. Een groot voordeel is de aanpasbaarheid van het ontwerp op de besluiten van B&W over het aanleggen van het eiland Buiteneiland. Namelijk, het ontwerp kan als een tijdelijke maatregel dienen waarna de zandplaat gebruikt wordt als eerste aanleg van Buiteneiland. De kosten voor de tijdelijk maatregel worden terugverdiend in de reductie van aanlegkosten van het Buiteneiland.

Groenstrand is na Zandeiland het goedkoopste alternatief op basis van de investeringskosten. De huidige waterkering wordt over de gehele lengte aangepast en betreft een permanent gevolg. Met betrekking tot kosten voor beheer en onderhoud moet rekening worden gehouden dat deze hoger uitvallen dan een traditionele kering. Het is een innovatief concept enkel eerder uitgevoerd op de Houtribdijk gepresenteerd in Appendix A.

Zandbank scoort lager dan Zandeiland. Het verschil zit hem in het benodigd frequent beheer van zandsuppletie. Verder onderzoek kan worden verricht naar de mate van erosie en afkalving van sediment. Wanneer er snel besluit komt vanuit B&W voor het aanleggen van het Buiteneiland, is dit een mogelijke voorkeursoptie door de laagste kosten met betrekking tot het aanleggen.

Twee ontwerpen met hoge investeringskosten zijn **Natuureiland** en **IJmeer Wadden**. Beide projecten hebben een grote omvang. Ondanks de hoge kosten hebben beide ontwerpen gewenste aspecten. Zo kan Natuureiland dienen als een eerste definitief deel van Buiteneiland met definitieve natuurontwikkeling. IJmeer Wadden is het ontwerp geschikt voor het gebruiken van het slibachtig materiaal in het plangebied om de waterkwaliteit te verhogen. Het is het alternatieven wat beschikt over alle gewenste aspecten voor zowel natuur en recreatie. Echter, het betreft een permanent ontwerp, waardoor plannen voor het Buiteneiland uit dienen te blijven.

7.3 Voorkeursalternatief per stakeholders

In Hoofdstuk 4 Stakeholderanalyse zijn de stakeholders geïdentificeerd en de geprioriteerde belangen met betrekking tot het ontwerp beschreven. Aan de hand van deze informatie zijn de ontwerpen ontwikkeld en kunnen ze evenals aan worden getoetst. Figuur 7-1 geeft een overzicht van de geïdentificeerde stakeholders uit Hoofdstuk 4 met voor iedere stakeholder een relatieve verdeling voor voorkeursalternatief aan de hand van het prioriteerde belang. Zoals beschreven in Hoofdstuk 4 kan er onderscheid worden gemaakt tussen stakeholders in de mate van invloed en de mate van belang met betrekking tot het ontwerp. Stakeholders met hoge mate van invloed en belang worden de sleutelfiguren genoemd en zijn in dit onderzoek: Waterschap AVG, milieuorganisaties en bewoners. Omdat er voor voorkeursalternatief voor Gemeente Amsterdam meerdere aspecten worden behandeld dan het geprioriteerd belang, wordt deze beschreven in volgende paragraaf 7.4 Voorkeursalternatief Gemeente Amsterdam.

1. Rijksoverheid

Een vereiste die zijn gesteld aan de alternatieven dat deze minstens voldoen aan de waterveiligheidsnormering om de waterproblematiek in IJburg op te lossen. De Rijksoverheid maakt beleid, vaardigt wetten uit en ziet toe op naleving. Hierdoor is voor dit onderzoek gesteld dat het belang van de Rijksoverheid de waterveiligheid van IJburg is. Doordat ieder alternatief de waterveiligheid waarborgt, is er geen voorkeursalternatief.

2. Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat is de waterbeheerder in het plangebied. Het geprioriteerde belang voor de waterbeheerder is met name de beheer- en onderhoudbaarheid van het water. Een oplossing bieden door middel van het Natuureiland is gewenst. De harde kering van de randen van het ontwerp in combinatie met een eerste invulling geven van het oorspronkelijk plan van IJburg, namelijk het Buiteneiland, bevat geen complexe beheer- en onderhoud. Overige alternatieven bevatten innovatieve ontwerpprincipes. Innovaties zijn risico verhogend voor de waterbeheerder, doordat dit nog geen vertrouwde en vaak geteste ontwerpen zijn. Ervaring is er niet. Hierdoor zijn deze alternatieven in mindere mate gewenst, dit is te zien in Figuur 7-1.

3. Provincie

Voor de provincie wordt hetzelfde principe gehanteerd als beschreven voor Rijksoverheid.

4. Gemeente Amsterdam

Zie paragraaf 7.4 Voorkeursalternatief Gemeente Amsterdam.

5. Waterschap AVG

Net als Rijkswaterstaat zijn de waterschappen de waterbeheerders van het gebied. De waterschappen zijn de beheerders van de primaire waterkeringen in het plangebied. Het geprioriteerde belang voor de waterbeheerder is met name de toetsbaarheid en beheer- en onderhoudbaarheid van het ontwerp. Een oplossing bieden door middel van het Natuureiland is gewenst. De harde kering van de randen van het ontwerp in combinatie met een eerste invulling geven van het oorspronkelijk plan van IJburg, namelijk het Buiteneiland, is eenvoudig toetsbaar en beschikt niet over complexe beheer- en onderhoud. Overige alternatieven bevatten innovatieve ontwerpprincipes. Innovaties zijn risico verhogend voor de waterkering beheerder, doordat dit nog geen vertrouwde en vaak geteste ontwerpen zijn. Ervaring is er niet. Hierdoor zijn deze alternatieven in mindere mate gewenst, dit is te zien in Figuur 7-1.

6. Milieuorganisaties

Milieuorganisaties zijn gebaat bij het versterken van het ecosysteem, derhalve, een ontwerp met de hoogste ecologische baten en het grootste effect op de natuurontwikkeling. IJmeer Wadden is het hoogst gerangschikt. De locatie als

stapsteen, de omvang van het ontwerp en het bouwen met slibachtig materiaal biedt grote mogelijkheden voor het versterken van de natuur en ecologische successie. Ook Natuureiland is favoriet. Doordat dit ontwerp bestempeld is als definitieve natuur biedt het kansen voor ecologische successie. Beide ontwerpen zijn ingericht voor natuur en menselijke verstoring in minimaal. Dit geldt niet voor de overige ontwerpen.

7. Bedrijven

Bedrijvigheid met betrekking tot IJburgbaai zijn gericht op watersportkansen. Ontwerpen Groenstrand, Zandeiland en Zandbank hebben hierdoor de voorkeur.

8. Bewoners

Uit onderzoek is gebleken, gepresenteerd in Hoofdstuk 3: Waterveiligheidsstatus IJburg, om de waterkering te voldoen aan de nieuwe normering de consequenties voor de huidige kering ten kosten gaan van het aanwezige voetpad. Daarnaast gaat een verhoging van de kering ten koste van het uitzicht op de IJburgbaai. Door deze argumenten is als uitgangspunt gesteld dat ieder alternatief op de dijkverhoging voorkeur heeft voor de bewoners. Daarnaast zijn de bewoners voornamelijk gebaat bij recreatieve voorzieningen gericht op natuurbeleving als watersport. Groenstrand biedt voor de bewoners de grootste recreatieve baten, zie Figuur 7-1.

9. Recreanten

De recreanten zijn gebaat bij ontwerpen met mogelijkheden voor watersportactiviteiten of activiteiten in de vorm van de natuurbeleving. Groenstrand heeft een voorkeur. Dit doordat het ontwerp contact met open water creëert over de gehele kering en toegankelijk is voor de mens. De positieve impact hierdoor is voor dit alternatief het hoogst daarom het hoogst.



Figuur 7-1: Relatieve vergelijking alternatieven per stakeholder op basis van geprioriteerd belang

7.4 Voorkeursalternatief Gemeente Amsterdam

Een voorkeursoplossing voor Gemeente Amsterdam aangaande de waterveiligheidsproblematiek is zeer afhankelijk van onzekerheden met betrekking tot ontwikkelingen in de toekomst. Zo is de voornaamste onzekerheid het besluit van B&W wanneer en of Buiteneiland wordt aangelegd. Met betrekking tot het aanleggen van Buiteneiland zijn 3 scenario's te onderscheiden:

- 1 Buiteneiland wordt aangelegd, echter, onzeker wanneer in toekomst;
- 2 Buiteneiland wordt direct achtereenvolgend op de bouw van Middeneiland aangelegd (2029);
- 3 Buiteneiland wordt niet aangelegd.

Figuur 7-2 geeft in een diagram de voorkeursoplossingen weer onderverdeeld over de 3 scenario's. Dit wordt onderstaand per scenario toegelicht.

Scenario 1

Figuur 7-2 geeft een beslisboom weer waarin bovenstaande scenario's zijn weergegeven inclusief het karakter van de oplossing leidend tot een voorkeursoplossing. Bij onzekerheid over wanneer Buiteneiland in de toekomst wordt aangelegd maar wel besloten is dat Buiteneiland wordt aangelegd, scenario 1, zijn twee alternatieven geschikt als oplossing. Dit zijn Natuureiland en Zandeiland. Natuureiland is geschikt doordat het een eerste aanleg van toekomstig Buiteneiland betreft waardoor resterend deel in de toekomst kan worden aangesloten. Zandeiland is geschikt doordat in het ontwerp zand wordt aangebracht en vervolgens wordt verdedigd op de locatie van toekomstig Buiteneiland en dit ook kan worden gezien als een eerste aanleg. Het grootste verschil in de twee ontwerpen is het karakter: Natuureiland is een definitieve oplossing waar Zandeiland een tijdelijke oplossing betreft (met mogelijkheid tot permanent karakter).

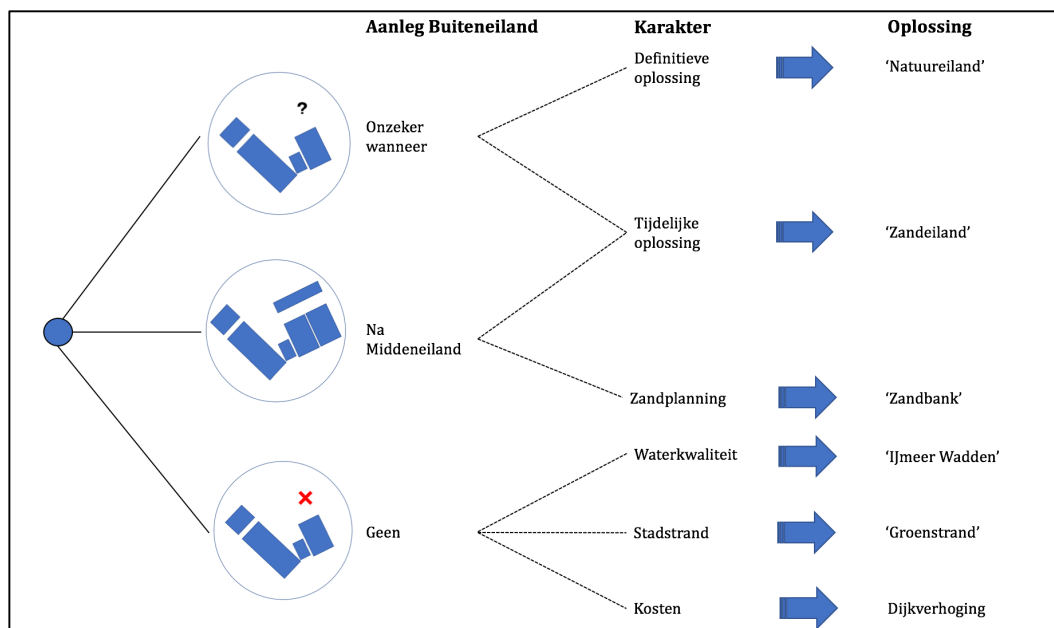
Scenario 2

Het tweede scenario bestaat dat Buiteneiland direct wordt aangelegd na de volledige realisatie van Middeneiland (fase 1 en 2). Appendix E: Informatie IJburg, bevat een voorlopig gehanteerd planningsschema van Gemeente Amsterdam over de aanleg van Middeneiland. Volgens deze planning is een directe aanleg van Buiteneiland op zijn vroegst in 2029. Voor dit scenario zijn twee alternatieven geschikt namelijk Zandeiland en Zandbank. Het verschil in deze ontwerpen is dat Zandeiland wel is verdedigd aan de ruwe zijde van het ontwerp en Zandbank niet. Hierdoor in Zandbank geheel dynamisch en behoeft het zandsuppletie. Keuze met betrekking tot deze ontwerpen is afhankelijk van de zandplanning. Het zand uit de overhoogte komt volgens de huidige planning beschikbaar in 2023. Dit betekent dat het ontwerp, uitgaande van de planning gepresenteerd in Appendix E, een minimale tijdsduur heeft van 6 jaar. Dit betekent dat bij Zandbank minimaal 6 jaar zandsuppletie moet worden aangebracht waarbij bij Zandeiland breuksteen voor 6 jaar wordt aangebracht. Een afweging moet worden gemaakt tussen het benodigd zandsuppletie of het aanleggen van het stortsteen. Verder onderzoek wordt aanbevolen in het optimaliseren van het technisch ontwerp van Zanddam om de frequentie van zandsuppletie en de hoeveelheid zand te bepalen.

Scenario 3

Het laatste scenario is het scenario dat Buiteneiland niet wordt aangelegd. Echter, is het waarschijnlijk dat deze beslissing niet op heden gemaakt worden maar in de toekomst plaatsvinden. Dit scenario bevat alternatieven die ofwel een permanente oplossing betreffen aan de huidige waterkering, derhalve, in de toekomst overbodig (Dijkverhoging en Groenstrand) of de aanleg Buiteneiland niet meer mogelijk maakt (IJmeer Wadden). De voordelen van de ontwerpen kunnen tegen deze nadelen opwegen. Dit is afhankelijk van de prioritering van de wensen (kosten, ecologische of recreatieve baten) van Gemeente Amsterdam en het beschikbaar budget uit deze wensen.

Zoals in scenario 3 al aan bod kwam, spelen er nog meer aspecten mee in de keuze voor een oplossing, onder andere de prioritering van de wensen. Het is van belang om de prioritering van de ecologische baten en de recreatieve baten helder te hebben voor het opmaken van budget en vervolgens het kiezen van een oplossing. De prioritering in de ecologische en recreatieve baten wordt dan ook aanbevolen voor verder onderzoek.



Figuur 7-2: Diagram voorkeursalternatief

7.5 Conclusie

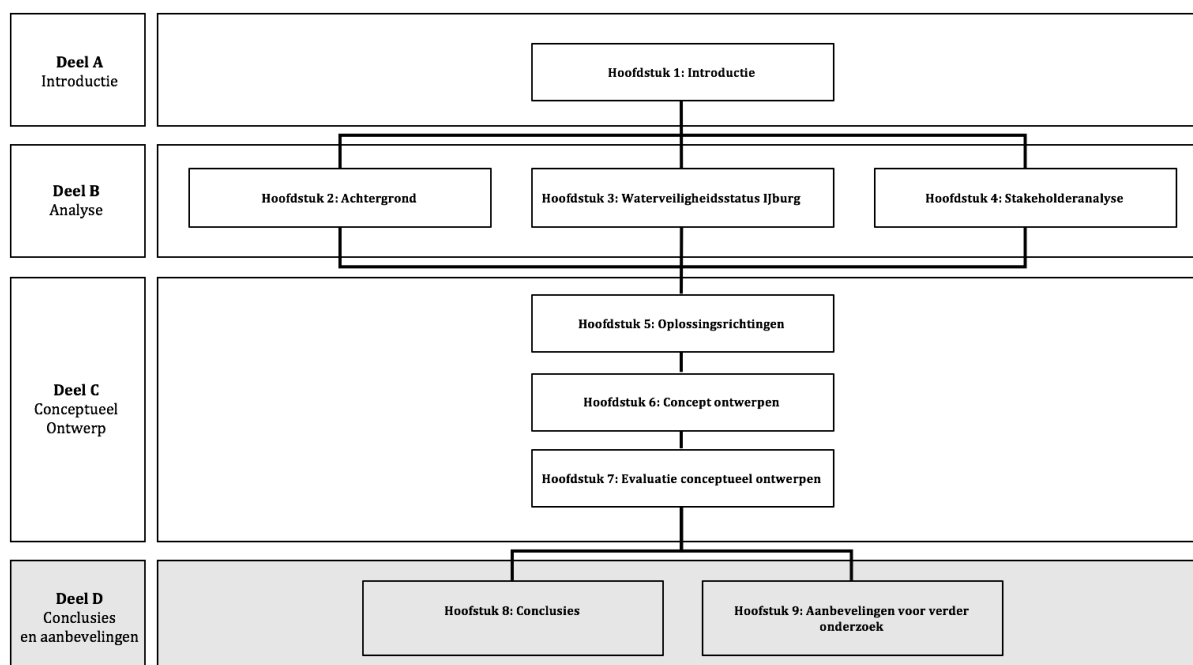
In dit Hoofdstuk zijn drie analyses uitgevoerd om Gemeente Amsterdam in staat te stellen tot een voorkeursoplossing:

- Kosten-baten analyse;
- Stakeholderanalyse;
- Scenarioanalyse.

Op basis van de uitgevoerde analyses kan geconcludeerd worden dat de voorkeur voor Gemeente Amsterdam uit gaat naar oplossing Zandeiland. Uit de kosten-baten analyse is gebleken dat dit de goedkoopste oplossing betreft op basis van de investeringskosten van de BwN-type ontwerpen. Daarnaast beschikt Zandeiland over alle geformuleerde ecologische en recreatieve baten op de verbetering van het fysisch en chemische waterkwaliteit van het systeemgebied na. Desalniettemin, is een traditionele lokale dijkverhoging goedkoper met betrekking tot de investeringskosten van het ontwerp. Echter, biedt een lokale dijkversterking geen ecologische en recreatieve baten en heeft het nadelig effect van het inleveren van het huidige wandelpad op de dijk. Daarbij komend is betreft de dijkversterking een permanente oplossing. Als B&W besluit Buiteneiland aan te leggen, zal de waterkering kunnen worden aangepast naar de oorspronkelijke situatie wat nogmaals kosten betreft. Daarentegen, Zandeiland kan als een tijdelijke maatregel dienen waarna de zandplaat gebruikt kan worden als eerste aanleg van Buiteneiland. Hierdoor speelt het ontwerp maximaal in op het scenario dat onzeker is wanneer Buiteneiland wordt aangelegd en worden kosten voor de tijdelijk maatregel terugverdiend in de reductie van aanlegkosten van het Buiteneiland. Daarbij kunnen kosten gereduceerd worden door het zand voor het ontwerp te gebruiken afkomstig van de overhoogte van Middeneiland. Verder is het ontwerp niet in conflict met de belangen bij de geïdentificeerde stakeholders wat bevorderlijk is voor het implementatie proces.

Deel D

Conclusies en aanbevelingen



8

Conclusies

Om aan de woningvraag te voldoen werd in 2000 de bouw van eilandengroep IJburg gestart in het IJmeer-Markermeer. IJburg bestaat uit twee fases die achtereenvolgend aan elkaar zouden worden aangelegd. In 2002 betrokken de eerste bewoners hun huizen op de eerste fase van IJburg. Momenteel is het laatste eiland van fase 1 nog onbebouwd en is gepland dat in 2023 wordt gestart met extra bebouwing van huizen op de tweede fase. Echter, verdere beslissingen met betrekking tot de gehele aanleg van IJburg in de tweede fase is op dit moment nog uiterst onzeker. Omdat het huidige waterbouwkundig ontwerp nog steeds uit gaat van de definitieve situatie van fase 1 en fase 2, is onderzoek naar het effect van het uitblijven van het Buiteneiland op de waterveiligheidsstatus nodig. Daarnaast is vanaf januari 2017 een nieuwe waterkeringsnormering en veiligheidsfilosofie voor dijken, dammen en duinen in Nederland wettelijk van kracht. Hieruit is de volgende hoofdvraag ontstaan voor het onderzoek:

“Wat is het effect van de implementatie van de nieuwe normering voor primaire waterkeringen en het uitgestelde besluit van B&W voor het eiland Buiteneiland op de waterveiligheidsstatus in IJburg, welke BwN alternatieven bestaan er om de waterveiligheid in IJburg te garanderen, en welk alternatief wordt geadviseerd voor Gemeente Amsterdam?”

■ Invloed van het Buiteneiland op waterveiligheidsstatus IJburg

Geconcludeerd kan worden dat het Buiteneiland een dusdanig groot effect heeft op de hydraulische randvoorwaarden, derhalve, de vereiste kruinhoogte van de primaire waterkering dat met de afwezigheid van het eiland de huidige waterveiligheidsstatus in IJburg onvoldoende is uitgaande van een conservatieve benadering. Dit geldt voor zowel de toepassing van de oude normering (overschrijdingsbenadering) als de toepassing van de nieuwe normering (overstromingskansbenadering).

■ Invloed van de normering op primaire waterkeringen op waterveiligheidsstatus IJburg

Uit het onderzoek blijkt dat de toepassing van de nieuwe normering geen invloed heeft op de waterveiligheidsstatus van IJburg. Hierdoor is Gemeente Amsterdam verantwoordelijk voor een maatregel om het gebied aan de waterveiligheidsnormen te voldoen. Echter, in de tijd, 2000-2017, hebben ontwikkelingen plaatsgevonden met betrekking tot rekenprogramma's en kennisontwikkelingen betreffende het klimaat. Dit heeft invloed op de uitkomsten van de berekeningen. Er kan geconcludeerd worden dat door de nieuwe overstromingskansbenadering als gevolg van kennisontwikkeling wordt verwacht dat onzekerheden met betrekking tot hydraulische belasting en de sterkte van de dijk worden verkleind, derhalve, onzekerheidsmarges met betrekking tot dijkontwerpen worden verkleind. Dit betekent dat een lagere vereiste kruinhoogte wordt verwacht voor de primaire kering in IJburg. Echter, doordat er veel onzekerheden zijn met betrekking tot het peilbeheer in de toekomst voor het toepassingsgebied IJmeer-Markermeer, worden er toch onzekerheidsmarges toegevoegd (waterstandsniveau en robuustheidsmarge), waarna vereiste kruinhoogte nagenoeg gelijk blijft.

■ Consequenties voor huidige primaire waterkering in Haveneiland West-IJburg

Geconcludeerd kan worden dat met het uitblijven van Buiteneiland, voor zowel toepassen van de oude als de nieuwe normering, een dijkversterking moet plaatsvinden om aan het geëiste waterveiligheidsniveau te voldoen. Met een door Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde handreiking voor ontwerpen met overstromingskansen is een vereiste kruinhoogte bepaald bij het uitblijven van het Buiteneiland voor de primaire waterkering in Haveneiland West-IJburg. Deze is vergeleken met het huidige ontwerp waaruit geconcludeerd kan worden dat de dijkversterking, bij het uitblijven van Buiteneiland, een kruinverhoging van 0,6 meter bedraagt. Doordat de bovenwater helling van de dijk over een maximale steilheid beschikt, wordt de kruinhoogte van de dijk verhoogd en de referentielijn van de dijk 1,5 m verschoven. Hierdoor wordt het aangrenzend wandelpad vervangen door een stortstenen bekleding.

■ Building with Nature alternatieven voor dijkverhoging

In de waterbouwkundig ontwerpen van de BwN alternatieven voor dijkverhoging wordt uitgegaan van natuurlijke elementen zoals wind, stroming, flora en fauna waardoor voordelen kunnen worden geboden voor zowel natuur, recreatie als kostenreductie. De alternatieven berusten op twee verschillende principes om de waterveiligheid te

waarborgen zonder dat de kruinhoogte van de primaire waterkering moet worden verhoogd: dempen van golfslag door infrastructuur waarbij een schaduwzone in de IJburgbaai wordt gecreëerd en aanleggen van een zandige vooroever voor de huidige kering. De dagelijkse windcondities spelen een belangrijke rol in de ontwerpen betreffende onverdedigde zandige taluds. De zandige taluds bieden zowel voordelen voor natuur (land-waterovergangen en rust- en ruiplaatsen voor watervogels) als recreatie (windsurf-, kitesurf-, zwemmogelijkheden en creatie van stadsstrand). Daarnaast is het gebruik van zand in de ontwerpen gewenst doordat zand beschikbaar komt uit een ander project binnen IJburg. Hierdoor worden kosten gereduceerd en werk met werk gemaakt. Naast zand is er ook nagedacht om met slibmateriaal te werken. Het slibmateriaal is aanwezig in het systeemgebied en overmatig slib is ongewenst door het negatieve effect op de waterkwaliteit. Door het opnemen en verwerken van slibachtig materiaal wordt de waterkwaliteit verbeterd, natuurgebied ontwikkeld en een oplossing geboden op de waterveiligheidsproblematiek. Een laatste belangrijk aspect om voordelen te behalen in tegenstelling tot traditionele dijkverhoging, is het inspelen met het ontwerp op mogelijke beleidsplannen betreft de configuratie van eilanden. Dit wordt gedaan door het creëren van tijdelijke ontwerpen met een mogelijkheid tot permanent karakter.

■ Voorkeursoplossing voor Gemeente Amsterdam

Op basis van de uitgevoerde analyses kan geconcludeerd worden dat de voorkeur voor Gemeente Amsterdam uit gaat naar oplossing Zandeiland. Zandeiland is een opgespoten kunstmatig eiland (7ha) ter hoogte van toekomstig Buiteneiland. Door de aanwezigheid van het eiland wordt een schaduwzone in de IJburgbaai gecreëerd waardoor de kruinhoogte van de primaire waterkering van Haveneiland West niet hoeft worden verhoogd. Aan de ruwe zijde van het eiland wordt een harde kering geconstrueerd van breuksteen. De luwzijde van het eiland heeft geen breukstenen verdediging en beschikt over een zachte kering van zandig talud. Dit creëert een gewenste land-waterovergang ten gunste voor natuurontwikkeling. Het eiland dient als een stapsteen waarmee Amsterdam-Noord, Natuureiland en Middeneiland met elkaar kunnen worden verbonden. Daarnaast is de locatie geschikt voor gewenst rust- en rui gebied voor watervogels in open water, ideaal gelegen na het door watervogels foerageren op naastgelegen mosselbanken. Naast de baten voor natuur wordt het eiland gebruik als een heus recreatie eiland waar mogelijkheden zijn voor kitesurfen, windsurfen en met het strand zwemplekken worden gecreëerd. Uit de kosten-baten analyse is gebleken dat Zandeiland de goedkoopste oplossing betreft op basis van de investeringskosten onder de BwN-type ontwerpen. Daarnaast beschikt Zandeiland over alle geformuleerde ecologische en recreatieve baten op de verbetering van het fysisch en chemische waterkwaliteit van het systeemgebied na. Desalniettemin, is een traditionele lokale dijkverhoging goedkoper met betrekking tot de investeringskosten van het ontwerp. Echter, biedt een lokale dijkversterking geen ecologische en recreatieve baten en heeft het nadelig effect van het inleveren van het huidige wandelpad op de dijk. Daarbij komend is betreft de dijkversterking een permanente oplossing. Als B&W besluit Buiteneiland aan te leggen, zal de waterkering kunnen worden aangepast naar de oorspronkelijke situatie wat nogmaals kosten betreft. Daarentegen, Zandeiland kan als een tijdelijke maatregel dienen waarna de zandplaat gebruikt kan worden als eerste aanleg van Buiteneiland. Hierdoor speelt het ontwerp maximaal in op het scenario dat onzeker is wanneer Buiteneiland wordt aangelegd en worden kosten voor de tijdelijk maatregel terugverdiend in de reductie van aanlegkosten van het Buiteneiland. Daarbij kunnen kosten gereduceerd worden door het zand voor het ontwerp te gebruiken afkomstig van de overhoogte van Middeneiland. Verder is het ontwerp niet in conflict met de belangen bij de geïdentificeerde stakeholders wat bevorderlijk is voor het implementatie proces.

9

Aanbevelingen voor verder onderzoek

De berekening die voor het toetsen van de waterveiligheid zijn uitgevoerd en de conceptuele ontwerpen die door het toepassen van de BwN filosofie zijn ontstaan, kunnen gebruikt worden ter informatie voor verdere beslissingen aangaande een maatregel voor de waterkering indien deze officieel worden afgekeurd in volgende toets ronde door waterkering beheerder Waternet. Een aantal belangrijke aspecten zijn in dit afstudeeronderzoek niet of niet volledig onderzocht. In dit Hoofdstuk volgen een aantal aanbevelingen voor verder onderzoek.

■ Optimaliseren berekeningen toetsen waterveiligheid:

- De berekeningen voor de vereisten kruinhoogte zijn berekend door Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde methode Ontwerp Instrument 2014 (OI2014). De methode berust op het berekenen van een nieuw ontwerpprofiel voor de dijk, rekenend houdend met toekomstige scenario's, in plaats van het **toetsen van het profiel** aangaande de huidige situaties. Hierdoor kan het ontwerpprofiel robuuster uitvallen. Onderzocht dient te worden in welke mate het ontwerpprofiel afwijkt van het minimaal benodigd profiel bij het beoordelen van de kering.
- In het onderzoek wordt berekend met de **signaleringswaarde** van 1:300 per jaar. Dit is een signaalgrens die afgeeft dat de dijk op termijn versterkt moet worden. De waarde is zo gekozen dat er voldoende tijd is voor uitvoering van een verbeteractie. De ondergrens is de werkelijke maximaal toelaatbare faalkans voor de waterkering en betreft 1:100 per jaar, waardoor in het onderzoek de berekening als conservatief kan resulteren.
- In het onderzoek is gebruik gemaakt van de standaard faalkansbegroting van OI2014. OI2014 maakt het mogelijk om de begroting te optimaliseren. Omdat IJburg kunstmatig aangelegde eilanden zijn, met het maaiveld hoger dan het toetspeil, zijn faalmechanismen als opbarsten en piping en macrostabiliteit binnen, verwaarloosbaar. Aanbevolen wordt om een **optimale faalkansbegroting** te bepalen en toe te passen voor het waterbouwkundig ontwerp.
- In het onderzoek is de golfontwikkeling gemodelleerd door middel van 1D programma SwanOne. **Stromingseffecten en effecten ten gevolge van de aanwezige mosselbanken** zijn hierbij niet meegenomen in het model. Voor een optimalisatie met betrekking tot de hydraulische randvoorwaarden van het ontwerp wordt aanbevolen om de impact van deze effecten te bepalen.
- De primaire waterkering Haveneiland West bevat een **verticaal betonelement**. In de berekeningen draagt het element niet bij aan de vereiste veiligheid. Onderzoek wordt aanbevolen in welke mate het element kan bijdragen aan de vereiste waterveiligheid.
- Naar aanleiding van de nieuwe normering worden keringen officieel getoetst aan de hand van **Wettelijk Beoordelings Instrument 2017** (WBI2017). Een belangrijk verschil is dat het instrument uitgaat van een geheel probabilistische som in plaats van de semi-probabilistische methode van OI2014. Aanbevolen wordt om WBI2017 toe te passen, zodra deze beschikbaar is gesteld door Rijkswaterstaat.

■ Optimaliseren technische haalbaarheid conceptueel ontwerpen:

Deze studie betreft een conceptueel ontwerp studie, waarbij ontwerpelementen o.a. gebaseerd is op eerdere studie uitgevoerd door Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam en innovatieve projecten uitgevoerd in het IJmeer-Markermeer. Het wordt aanbevolen om de **technische haalbaarheid van de BwN ontwerpen te optimaliseren**. Hierin is belangrijk dat de afmetingen van de ontwerpen worden geoptimaliseerd voor ingestelde schaduwzone. Ook dienen de afmetingen van de strekdammen aangaande het ontwerp Groenstrand te worden optimaliseerd. Daarnaast wordt onderzoek aanbevolen naar de sterkte en stabiliteit van de ontwerpen, met name, de ontwerpen gebaseerd op

morfologische ontwikkeling ten gevolge van sediment transport en afkalving. Ten slotte, wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de kwantiteit en kwaliteit van het slibachtig materiaal in de Oergeul voor ontwerp IJmeer Wadden.

■ **Optimaliseren kosten-baten analyse:**

Het wordt aanbevolen om de kosten-batenanalyse verder te specificeren voor de dijkverhoging en de BwN conceptuele ontwerpen. Hiervoor wordt aanbevolen om de **ecologische en recreatieve verwachte effecten te** kwantificeren. Het is van belang dat naast de kwantificering ook de prioritering van de ecologische en recreatieve wensen wordt bepaald voor Gemeente Amsterdam. Verder moet een **economische kwantificering** met betrekking tot de ecologische en recreatieve baten worden uitgevoerd. De kostenraming moet gespecificeerd worden voor de ontwerpen voor zowel de investeringskosten, als de **beheer- en onderhoudskosten** over de gehele zichtjaar van de ontwerpen. Daarbij wordt een scenarioanalyse aanbevolen met betrekking tot de onzekerheden in het aanleggen van de totale configuratie eilanden IJburg.

Bibliografie

- Algemeen Dagblad. (2017). Meer tijd voor inspraak dijk Uitdam en Durgerdam | Amsterdam |. Retrieved from <https://www.ad.nl/amsterdam/meer-tijd-voor-inspraak-dijk-uitdam-en-durgerdam~ae781e81/>
- Berents, R., & Straver, H. (2015). *Watervisie Amsterdam 2040*.
- Cleton, R., & van den Ende, S. H. (2004). Uitspraak 200304566/1 | Raad van State. Retrieved from <https://www.raadvanstate.nl/uitspraken/zoeken-in-uitspraken/tekst-uitspraak.html?id=8940>
- Dankers, P., Wichman, B. G. H. M., & van Kerkvoorde, M. S. (2015). Eindrapportage Pilot Markermeer Moeras: Beantwoording onderzoeksvragen en monitoringsresultaten morfodynamica, geotechniek en ecologie.
- de Vriend, H., & van Koningsveld, M. (2012). *Building with Nature*. Retrieved from https://www.ecoshape.org/uploads/sites/2/2016/07/ECOSHAPE_BwN_WEB.pdf
- Deltares. (2017). Kale platen; Ecotopen. Retrieved August 14, 2017, from <https://publicwiki.deltares.nl/display/EC/Kale+platen>
- Diermanse, F. (2016). *WBI - Onzekerheden*.
- Duits, M. T., & Kuijper, B. (2012). Hydra-Zoet.
- Ecoshape. (2015). Building With Nature. <https://doi.org/10.1080/02513625.2014.925714>
- Essentietabel IJmeer-Markermeer. (2000).
- Everdingen, F., Tiel, S., Meer, Z., Noord, V., Zuid, V., Markermeer, K., ... Everdingen, F. (2017). *Projecten 2017: De nieuwe norm*.
- Gemeente Amsterdam. (2009). *Bestemmingsplan IJburg tweede fase*. Retrieved from http://ftp.ruimtelijkeplannen.amsterdam.nl/DRO/plannen/NL.IMRO.03630000U007BPGST-/NL.IMRO.03630000U007BPGST-/t_NL.IMRO.03630000U007BPGST-.pdf
- Gemeente Amsterdam. (2017a). Ecologische passages en structuur. Retrieved August 31, 2017, from <https://maps.amsterdam.nl/ecopassages/>
- Gemeente Amsterdam. (2017b). *Gebiedsplan 2017*.
- Hogendorp, D. W. H. van. (2013). *Veiligheid Nederland in Kaart 2 Overstromingsrisico Dijkkring 13a IJburg*.
- Hoogheemraadschap Hollands Hoofdkwartier. (2017). Strand Hoorn - Locaties - Markermeerdijken - Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Retrieved January 6, 2018, from https://www.markermeerdijken.nl/markermeerdijken/strand-hoorn_42650/
- Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam. (2000). *Definitief Ontwerp waterkeringen IJburg*.
- Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam. (2017). *Definitief Ontwerp Middeneiland 2017*.
- Kiwa Water Research & ECG. (2007). *Knelpunten- en kansenanalyse Natura 2000-gebieden*.
- Knoben, R. A. E., Vijverberg, T., Dankers, P., Kanger, W., Boderie, P., & Noordhuis, R. (2015). Beantwoording NMIJ onderzoeksvragen, 47, 181.
- Kok, M., Jongejan, R., Nieuwjaar, M., & Tanczos, I. (2016). *Grondslagen voor Hoogwaterbescherming*.
- Koornstra, L., & de Mol, G. (2015). IJburg en de Oergeul. Retrieved from <http://www.supervisionair.nl/wp-content/uploads/IJBURG-EN-DE-OERGEUL.pdf>
- Kuijken, W. (2015). *Deltaprogramma 2015: Werk aan de delta*. Retrieved from [http://deltacommissaris.nl/Images/Deltaprogramma 2015 Nederlands_tcm309-358049.pdf](http://deltacommissaris.nl/Images/Deltaprogramma%202015%20Nederlands_tcm309-358049.pdf)
- Lenselink, G. (2001). De ontwikkelingsgeschieden van het IJsselmeergebied. *De Levende Natuur*. Retrieved from <http://natuurtijdschriften.nl/download?type=document;docid=495319>
- Melissen, C., & Schut, C. (2013). *Milieueffectrapport ten behoeve van het bestemmingsplan Marker Wadden*. Gemeente Lelystad / Natuurmonumenten.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, & Ministerie van Economische Zaken. (2015). *Nationaal Waterplan 2016-2021*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Hydraulische randvoorwaarden Primaire Waterkeringen*.
- Monen, H. (2017). *Landmaken Middeneiland Definitief Ontwerp*.
- Nationaal Waterplan. (2016).
- NMIJ. (2015). Voedselweb in het water - Kennissite Onderzoeksprogramma Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer. Retrieved January 4, 2018, from http://kennis.markermeerijmeer.nl/1_Markermeer-IJmeer/1_3+Ecosysteem/1_3_2+Voedselweb+in+het+water/default.aspx
- Noordhuis, R. (2014). Waterkwaliteit en ecologische veranderingen in het Markermeer-IJmeer. *Landschap*, (1), 10.
- Noordhuis, R., & Blaas, M. (2016). *Monitoring van doorzicht en gerelateerde parameters in het Markermeer-IJmeer*.
- Noordhuis, R., Groot, S., Pires, M. D., & Maarse, M. (2014). *Wetenschappelijk eindadvies ANT-IJsselmeergebied*.
- Penning, L. (n.d.). Deltares werkt mee aan innovatieve dijkversterking rond meren - Deltares. Retrieved January 6, 2018, from <https://www.deltares.nl/nl/nieuws/deltares-werkt-mee-aan-innovatieve-dijkversterking-rond-meren/>
- Physical processes and design tools*. (2007). *Rock Manual*. Retrieved from [http://kennisbank-waterbouw.tudelft.nl/DesignCodes/rockmanual/chapter 5.pdf](http://kennisbank-waterbouw.tudelft.nl/DesignCodes/rockmanual/chapter%205.pdf)
- Poortman, S. E., van den Boomgaard, M. J. G., de Wit, L., & van Leeuwen, B. (2016). *Onderzoek stroming, golven en morfologie IJburg Fase 2*.
- Post, S., & Winkelhorst, J. (2017). *Waterkeringen Centrum-eiland Definitief Ontwerp*.
- Post, T., & Monen, H. (2017). *Landmaken Middeneiland Definitief Ontwerp*.
- Provoost, K. J., Roovers, I., van Bemmelen, R., & Denters, T. (2012). Natuurontwikkeling IJburg; Voorbeeld voor de Toekomst. *Groen*, 12-13. Retrieved from <http://cosasdelmundo.nl/wp-content/uploads/2015/09/2012->

- Rijksoverheid. (2015a). Voedselweb in het water - Kennissite Onderzoeksprogramma Natuurlijk(er) Mark. Retrieved August 21, 2017, from http://kennis.markermeerijmeer.nl/1_Markermeer-IJmeer/1_3+Ecosysteem/1_3_2+Voedselweb+in+het+water/default.aspx
- Rijksoverheid. (2015b). Waterbeheer in Nederland. Retrieved July 19, 2017, from <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/water/waterbeheer-in-nederland>
- Rijksoverheid. (2017a). Nationaal Basisbestand Primaire Waterkeringen. Retrieved September 25, 2017, from <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/norm>
- Rijksoverheid. (2017b). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Retrieved October 25, 2017, from <http://wetten.overheid.nl/BWBR0039040/2017-01-01>
- Rijksoverheid. Waterwet (2017). Retrieved from <http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2017-01-01>
- Rijkswaterstaat. (2012). Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor de Vechtdelta. Retrieved from http://publications.deltares.nl/1204143_003d.pdf
- Rijkswaterstaat. (2016a). Peilbesluit IJsselmeergebied.
- Rijkswaterstaat. (2016b). *Projectplan Waterwet Versterking Houtribdijk*.
- Rijkswaterstaat. (2017a). Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, (4), 71.
- Rijkswaterstaat. (2017b). Kaderrichtlijn Water | Rijkswaterstaat. Retrieved July 7, 2017, from <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/wetten-regels-en-vergunningen/natuur-en-milieuwetten/kaderrichtlijn-water/index.aspx>
- Roos, M. R., van Eerden, S. H. ., & van Rijn, M. (2005). *Ecologie en Ruimte: gebruik door vogels en mensen in de SBZ's IJmeer, Markermeer en IJsselmeer*.
- Slinger, J. H. (2016a). *Ecological Design Principals*.
- Slinger, J. H. (2016b). *Engineering Design Principles*.
- Slootjes, N., & van der Most, H. (2016). *Normering primaire waterkeringen Hoofdrapport*.
- Spoor, A., Verkenning, S., Sijpkens, D., & Wilt, M. Van Der. (2013). Slim Samenwerken aan Waterveiligheid, (april).
- Stowa. (2017). Kansinschatting falen waterkering. Retrieved from http://deltaproof.stowa.nl/pdf/Kansinschatting_falen_waterkeringen?rld=58
- TAW. (1999). *Leidraad Zee- en Meerdijken*.
- Timar, E. (2014). *Geziena gast in de natuur; Terugblik op het Natuurontwikkelingsfonds IJmeer*.
- TU Delft. (2016). *SwanOne User Manual*. Retrieved from http://www.kennisbank-waterbouw.nl/Software/SwanOne_User_Manual.pdf
- Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2016). 34 436 Wijziging van de Waterwet en enkele andere wetten (nieuwe normering primaire waterkeringen), 26. Retrieved from <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-34436-6.html>
- van der Meer, J. W. (2002). TAW Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, 15–25.
- van Herpen, F., den Held, S., Buskens, R., & de Rooij, G. (2012). Bureaustudie Natuurlijker Markermeer en IJmeer, 144.
- Waterschap Amstel Gooi Vecht. (2015). Waterbeheerplan 2016–2021.
- Zanen, K. van, Ponteyn, B., & Keijzer, E. (2011). *Structuurvisie Amsterdam 2040 Economisch sterk en duurzaam*.
- Zwart, Ij. (2008). *Achtergronddocument ecologie en waterkwaliteit; Bouwsteen voor Toekomstagenda Markermeer en IJmeer*.

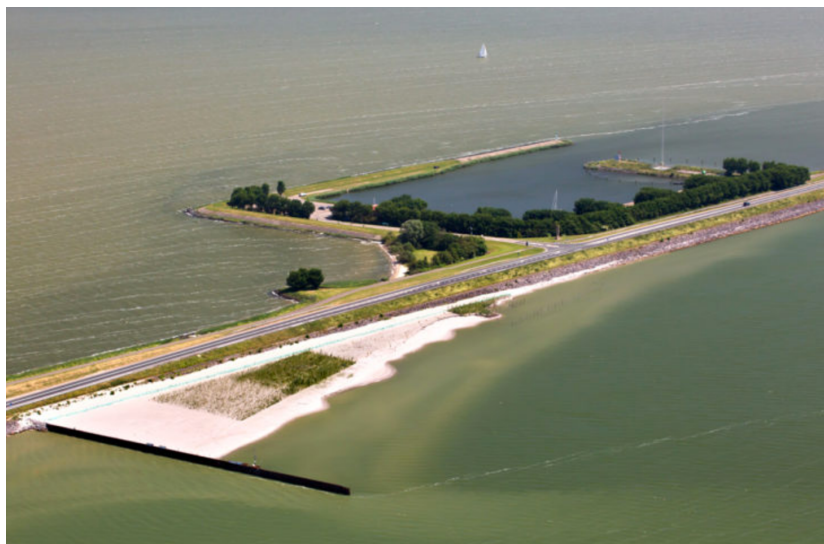
A

Referentieprojecten Building with Nature

De volgende projecten komen aan bod in de thesis door de overeenkomsten met de Building with Nature type oplossingen voor waterveiligheidsproblematiek IJburg. Dit zijn zandige vooroevers Houtribdijk, Marker Wadden en Markermeerdijken welke achtereenvolgend worden gepresenteerd.

A.1 Zandige vooroever Houtribdijk

Bij de Houtribdijk is een zandige vooroever aangelegd om vast te stellen aan welke eisen een zandig voorland of vooroever moet voldoen ben een dijkversterking rondom een meer, zie Figuur A-1. Een beplant voorland vermindert de golfslag tegen de dijk, waardoor de belasting op de dijk afneemt. De dijk zelf hoeft daardoor niet versterkt te worden. Dat scheelt kosten, want een zandig voorland of vooroever is goedkoper in aanleg en onderhoud dan een traditionele stenen dijkversterking. Bovendien is een natuurlijke oplossing duurzamer en vergroot het de natuurwaarden en recreatiemogelijkheden van een gebied. Op dit moment gaat het om een pilot waarbij een proefsectie van 500 meter is aangelegd en wordt gemonitord. De proefsectie bestaat uit circa 85.000m³ zand, variërend in breedte en hoogte. Met de kennis die hier wordt opgedaan kan het concept straks op diverse locaties worden toegepast, zo mogelijk ook in IJburg (Penning, n.d.).



Figuur A-1: Zandige vooroever Houtribdijk

A.2 Marker Wadden

Het project Marker Wadden is een project van de Nederlandse stichting Natuurmonumenten. Het gaat om een archipel van natuureilanden gelegen in het Markermeer, noordelijk nabij de Houtribdijk. Er wordt gestreefd naar een oppervlakte van uiteindelijk 4.500 hectare bovenwaterlandschap en is hiermee is het een van de grootste natuurprojecten van West-Europa.

Vroeger behoorde het Markermeer tot de Zuiderzee. Tegenwoordig is het meer afgesneden van de Waddenzee door middel van een dijk en ondervindt het meer extreme troebelheid als gevolg van windgolven die slib van de bodem opwoelen in het ondiepe meer. De fauna lijdt onder deze troebelheid in het Markermeer. Om dit probleem aan te pakken en de natuurlijke waarden in het meer te verbeteren zijn de Marker Wadden ontworpen. De Marker Wadden zijn kunstmatige eilanden van zand, klei en slib afkomstig uit het Markermeer. De eilanden vormen een gebied met moeras, natuurlijke oevers en ondiepe zones en streeft naar verbetering van de ecologische waarden. Het is gericht op het verminderen van de troebelheid van het meer. Ook recreatie waarden zullen worden gecreëerd doordat watersporters en natuurliefhebbers kunnen profiteren van het project (Melissen & Schut, 2013). Figuur A-2 geeft het eilandenarchipel Marker Wadden weer.



Figuur A-2: Marker Wadden

A.3 Markermeerdijken

Periodiek beoordeelt het hoogheemraadschap of de dijken nog voldoen aan de normen. Bij de beoordeling in 2006 zijn grote delen van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam afgekeurd, en wordt de komende jaren ruim 33 kilometer dijken versterkt. Bij het versterken van de Markermeerdijken wordt gebruik gemaakt van innovaties en omdat het 33 kilometer dijk betreft worden verschillende oplossingen geboden als: binnenwaartse, buitenwaartse versterking of oeverdijk. Figuur A-3 en Figuur A-4 wordt de situatie in Hoorn getoond. De oplossing betreft een oeverdijk. Een oeverdijk is een nieuwe halfhoge dijk in het Markermeer en heeft een flauw buitentalud die voor de bestaande dijk wordt aangebracht. De nieuwe oeverdijk neemt de functie als primaire waterkering geheel over (Hoogheemraadschap Hollands Hoofdkwartier, 2017).



Figuur A-3: Markermeerdijk



Figuur A-4: Markermeerdijk (schematisatie)

B

Hydra Modellen

Hydra Modellen zijn probabilistische modellen dat de statistiek berekent van de hydraulische belastingen (waterstand, golfcondities, golfoverslag) ten behoeve van de beoordeling van de primaire dijken en kunstwerken van Nederland. Voor officiële beoordelingsberekeningen wordt gebruik gemaakt van de geschikte randvoorwaarde databases opgesteld door Rijkswaterstaat. In deze Appendix wordt de hydraulische belasting bepaald voor de vier opgestelde scenario's:

- **Scenario 1:** Waterveiligheidsstatus uitgaande de totale eilandengroep conform de oude normering voor primaire keringen;
- **Scenario 2:** Waterveiligheidsstatus uitgaande de afwezigheid Buiteneiland conform de oude normering
- **Scenario 3:** Waterveiligheidsstatus uitgaande de totale eilandengroep, conform de OI2014;
- **Scenario 4:** Waterveiligheidsstatus uitgaande de afwezigheid van Buiteneiland, conform OI2014.

Voor scenario 1 en 2 is Hydra Model Hydra M toegepast bij het ontwerpen van de waterkering in 2000. Voor scenario 3 en 4 wordt het Hydra Model Hydra Zoet toegepast voor het verkrijgen van de hydraulische randvoorwaarden voor het ontwerpen van de kering. In deze Appendix worden de technische uitgangspunten en de resultaten beschreven voor de scenario's. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de modellen Hydra M en Hydra Zoet en worden achtereenvolgend in deze Appendix gepresenteerd.

B.1 Hydra M

Hydra M is een model waarmee waterkeringen op hun veiligheidsniveau kunnen worden beoordeeld. Het ter beschikking stellen van Hydra M gaat altijd gepaard met het uitleveren van hydraulische randvoorwaarden, in combinatie met de marginale statistiek van de statistische randvoorwaarden en een probabilistische rekenmodule. De hydraulische randvoorwaarden worden gevormd door waterstands- en golfcondities nabij de teen van de dijken. Daaronder vallen onder andere lokale waterstanden, stroomsnelheden, significante golfhoogten, piekperioden of andere periodematen voor golven en golfrichtingen. Deze hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald met behulp van fysische modellen voor de waterbeweging en de golfgroei onder invloed van wind. Iedere set hydraulische randvoorwaarden wordt bepaald door een set van 'invoervariabelen', de zogenoemde statistische randvoorwaarden. In algemene zin zijn dit de randvoorwaarden die het optreden van de hydraulische randvoorwaarden bepalen en waarvan het optreden een statistisch karakter heeft. Voor het IJsselmeergebied zijn dat de randvoorwaarden windrichting, windsnelheid en meerpeil. Het statistische karakter wordt beschreven in de statistiek, waarin vastgelegd is met welke frequentie, windrichtingen, windsnelheden en meerpeilen voorkomen. In het model Hydra-M worden de resultaten vertaald naar vereiste kruinhoogten. De interpretatie van resultaten uit Hydra-M is afhankelijk van het gekozen faalmechanisme. Voor IJburg is golfoverslag opgenomen.

B.1.1 Technische uitgangspunten

De volgende technische uitgangspunten met betrekking tot scenario 1 en 2 zijn gehanteerd voor het onderzoek:

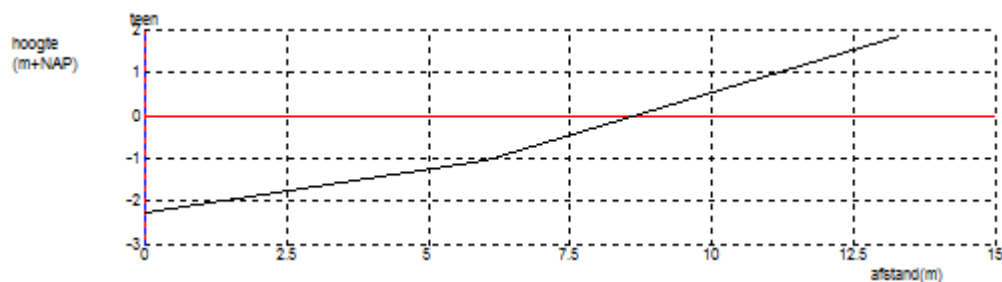
- Dijkprofiel;
- Locatie;
- Ontwerpcriterium;
- Marges en onzekerheden.

Dijkprofiel

Ten behoeve van het ontwerp zijn voor het profiel de volgende kenmerken van belang:

- Maximaal toelaatbaar golfoverslagdebiet: 0.3 l/s/m;
- Taludhelling is 1:2.5 tussen +2.40 N.A.P. en -0.20 N.A.P.;
- Taludhelling is 1:5 tussen -0,20 N.A.P. en waterbodem;
- Niveau van teen talud -2,25 N.A.P.;
- Bekleding talud: stortsteen; ruwheidsfactor 0,55.

Dit resulteert in een dijkprofiel geïllustreerd in Figuur B-1.



Figuur B-1: Hydra M; dijkprofiel Haveneiland West-IJburg

Locatie

Het programma Hydra M werkt met illustratiepunten. Dit zijn punten waarbij de meest waarschijnlijk combinatie van randvoorwaarden hoord bij het hydraulisch belastingniveau bij de gegeven frequentie plaatsvindt. De randvoorwaarden uit het illustratiepunt kunnen worden aangenomen als de hydraulische randvoorwaarden voor deze locatie. In Figuur B-2 worden de illustratiepunten weergegeven opgenomen in het programma Hydra M. Voor het onderzoek zijn twee punten relevant. Dit zijn de punten HAV2 en BUE3 en zijn gearceerd in het figuur. HAV2 is de locatie aan de teen van de waterkering van Haveneiland West. Doordat in het programma Hydra M de aanwezigheid van de totale configuratie van eilanden is opgenomen is dit illustratiepunt representatief voor scenario 1. Illustratiepunt BUE3 ligt aan de rand van het buitenwater van het IJmeer-Markermeer waardoor hier geen invloed is van de eilanden en representatief is voor scenario 2.



Figuur B-2: Hydra M; illustratiepunten HAV2 en BUE3

Ontwerpcriteria

De kruinhoogte wordt bepaald door een maatgevende hoogwaterstand, vermeerderd met een waakhogte dat wordt bepaald door een maximaal toelaatbaar golfoverslagdebiet. Het maximaal toelaatbaar golfoverslagdebiet is 0,3 l/m/s. Indien deze waakhogte minder dan 0,50 m bedraagt, geldt het waterstandscriterium. Dit criterium is van toepassing in een gebied waar golfaanval een ondergeschikte rol speelt.

Waterstand

Verwachting wijziging waterstanden in het Markermeer in de toekomst. Hiervoor zijn een drietal mechanismes verantwoordelijk:

- Klimaatverandering en de zeespiegelrijzing zullen de waterhuishouding van het IJsselmeer en Markermeer beïnvloeden; naar verwachting zal dit een stijging van de peilen veroorzaken;
- De waterhuishouding van het IJsselmeer en Markermeer zullen worden aangepast aan de klimaatverandering en de zeespiegelstijging.
- Mogelijke aanpassing van het streefpeil van het Markermeer met oog op ecologische effecten.

De kering beheerder, toentertijd DWR, eist in het ontwerp van de waterkeringen dat er rekening wordt gehouden met de ontwikkelingen en eist daarmee een potentiële ophoging van 0,5 meter.

Marges en onzekerheden

In het ontwerp zijn marges en onzekerheden gehanteerd met betrekking tot Hydra M en de configuratie van eilanden. Hydra M is het rekenmodel waarmee Rijkswaterstaat de vijfjaarlijkse beoordeling van primaire waterkeringen uitvoert. Bij het gebruik van het model wordt geadviseerd door Rijkswaterstaat om op de kruinhoogte een marge toe te voegen waarin toekomstige model onzekerheden worden verdisconteerd. Op dit verzoek is een marge van 0.2 meter in rekening gebracht. Voor het profiel wordt de kruinhoogte door de golfaanval uit het Noordoosten bepaald. Een wijziging in de configuratie van de eilanden kan leiden tot een wijziging in de benodigde kruinhoogte. Voor wijzigingen van de vormgeving van de eilanden van de eilanden wordt een marge van 0.25 meter in rekening gebracht.

B.1.2 Resultaten

Na het implementeren van de technische uitgangspunten in het programma Hydra M zijn de maatgevende gegevens van belang voor het ontwerp van het profiel gepresenteerd in Tabel B-1 en de vereiste kruinhoogte in Tabel B-2.

Tabel B-1: Hydra M; hydraulische randvoorwaarden scenario 1 en 2

Parameter	Eenheid	Scenario 1: inclusief Buiteneiland (Illustratiepunt HAV2)	Scenario 2: exclusief Buiteneiland (Illustratiepunt BUE3)
Hs	[m]	0.72	0.99
Tp	[s]	2.61	4.01

Tabel B-2: Hydra M; kruinhoogteberekening scenario 1 en 2

Parameter	Eenheid	Scenario 1: inclusief Buiteneiland (Illustratiepunt HAV2)	Scenario 2: exclusief Buiteneiland (Illustratiepunt BUE3)
MHW uit Hydra M	[m]	0.70	0.7
Waakhogte	[m]	0.60	1.09
TAW-marge (waterstandoscillaties)	[m]	0.1	0.1
Vereiste kruinhoogte	[m]	1.40	1.89
Marge model onzekerheden		0.20	0.2
Marge onzekerheden configuratie eilanden		0.25	
Ontwerphoogte	[m]	1.85	2.09

B.2 Hydra Zoet

Met Hydra Zoet kunnen alle primaire keringen in de zoete wateren van Nederland worden beoordeeld op hoogte, waaronder het IJmeer-Markermeer. De database gebruikt voor het onderzoek is de volgende: HR2006_Meer_Markermeer_oever_a_13A_v01. Dit staat voor Hydraulische Randvoorwaarden met watertype 'meer' en het systeemgebied Markermeer voor voormalig dijkkringgebied 13A IJburg.

Gelijk aan het programma Hydra M is met het programma Hydra-Zoet voor alle geselecteerde locaties (illustratiepunten) in de database een berekening worden gemaakt voor het toetspeil en/of het hydraulische belastingniveau. Hydra-Zoet is geschikt voor alle zoete watersystemen en bevat daarom alle stochastische variabelen die relevant zijn voor al deze watersystemen. Relevant voor het IJmeer-Markermeer zijn de stochasten meerpeil, windsnelheid en windrichting. De met Hydra-Zoet berekende waterstanden en golfparameters gelden voor de geselecteerde uitvoerlocaties. Deze locaties liggen niet exact aan de teen van maar op een afstand van de dijk. Binnen Hydra-Zoet zijn de maximale waterstanden en golfcondities voor de 720 combinaties van de stochasten meerpeil, windrichting en windsnelheid bekend. Door op de juiste manier de kansen op een bepaald meerpeil, windrichting en windsnelheid te verwerken, levert de probabilistische berekening het toetspeil of het hydraulische belastingniveau als functie van de overschrijdingsfrequentie (Rijkswaterstaat, 2012). De resultaten van Hydra Zoet (waterstand, golfhoogte, golfperiode en golfrichting uit het illustratiepunt) op basis van een berekening met het standaard profiel, Haveneiland West, kunnen worden gebruikt voor verdere berekeningen met betrekking tot het behoorden van de kering. Deze berekeningen komen aan bod in Appendix D: PC Overslag.

Vooraf aan de berekeningen worden de technische uitgangspunten ingevoerd met betrekking tot de scenario's. De scenario's zijn als volgt:

- **Scenario 3:** Waterveiligheidsstatus uitgaande van de afwezigheid van Buiteneiland, conform de nieuwe normering;
- **Scenario 4:** Waterveiligheidsstatus uitgaande de totale eilandengroep, conform de nieuwe normering.

De waterveiligheidsstatus wordt bepaald aan de hand van de vereiste kruinhoogte welke wordt vergeleken met huidig dijkprofiel. De nieuwe normering toegepast in het OI2014 en als technisch uitgangspunt gehanteerd. Deze staan in de volgende sub paragraaf beschreven.

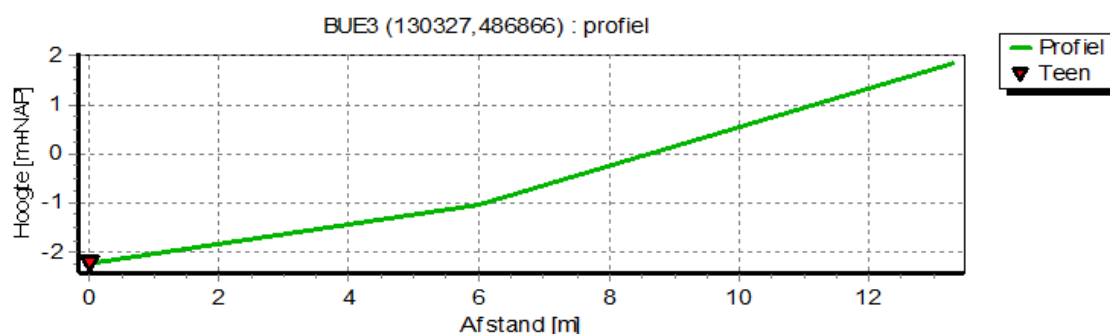
B.2.1 Technische uitgangspunten

In deze Appendix wordt een opsomming gegeven van de technische uitgangspunten voor de berekening van de hydraulische randvoorwaarden voor de bovengenoemde scenario's. Deze zijn als volgt:

- Dijkprofiel;
- Illustratiepunten;
- Normering;
- Overslagcriterium;
- Zichtjaar;
- Waterpeil.

Dijkprofiel

De invoering van het dijkprofiel is gelijk aan de maatgevende invoering van het profiel voor scenario 1 en 2. Figuur B-3 geeft de maatvoering van het dijkprofiel in Haveneiland West weer ten gevolge van de gegevens gepresenteerd in Tabel B-3.



Figuur B-3: Hydra Zoet; maatvoering dijkprofiel Haveneiland West

Tabel B-3: Maatvoering dijkprofiel Haveneiland West

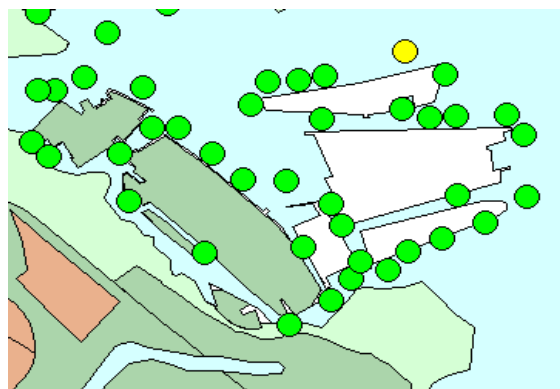
Afstand	Hoogte	Afstand	Hoogte	Helling	Materiaal	Ruwheidsfactor
0	-2.25	6	-1.05	5	Breuksteen	0.55
6	-1.05	13.3	1.85	2.5	Breuksteen	0.55

Illustratiepunten

Voor Hydra Zoet geldt hetzelfde principe als voor Hydra M met betrekking tot de illustratiepunten. Figuur B-4 en Figuur B-5 tonen met de gele stip illustratiepunt HAV2 respectievelijk BUE3, waarbij HAV2 representatief is voor scenario 3 en BUE3 representatief is voor scenario 4.



Figuur B-4: Hydra Zoet; illustratiepunt HAV2



Figuur B-5: Hydra Zoet; illustratiepunt BUE3

Normering

Tabel B-4: Hydra Zoet; normering

Parameter	Eenheid	Waarde
Signaleringswaarde	[1/jaar]	1/300
Toelaatbaar overstromingskans	[1/jaar]	1/100
Faalkansbudget	[-]	0.24
Lengte effect factor	[-]	2
Faalkanseis op doorsnede niveau Hoogte	[1/jaar]	0.0012 (1/833)

Overslagcriterium

Tabel B-5: Hydra Zoet; overslagcriterium

Parameter	Eenheid	Waarde
Overslagcriterium	[l/m/s]	10

Zichtjaar

Tabel B-6: Hydra Zoet; zichtjaar

Parameter	Eenheid	Waarde
Zichtjaar	[jaar]	100

Waterpeil

Tabel B-7: Hydra Zoet; waterpeil

Parameter	Eenheid	Waarde
Peilverhoging IJmeer-Markermeer 2100	[m]	0,18

B.2.2 Resultaten

Tabel B-8: Hydra Zoet; resultaten

Parameter	Eenheid	Scenario 3: inclusief Buiteneiland (Illustratiepunt HAV2)		Scenario 4: exclusief Buiteneiland (Illustratiepunt BUE3)	
Kritieke Overslagdebiet	[l/m/s]	5	10	5	10
Windrichting	[-]	NO	NO	NO	NO
Meerpeil	[m+NAP]	-0.09	-0.09	-0.09	-0.11
Windsnelheid	[m/s]	20.6	20.6	20.2	20.4
h,teen	[m]	0.72	0.73	0.62	0.62
H, teen	[m]	0.54	0.54	1.17	1.18
Tm-1, t	[s]	2.2	2.2	3.9	3.9
Golfrichting	[-]	47	47	51	51
Hydraulisch belasting niveau	[m]	1.09	1.02	2.91	2.59

Waarin:

Meerpeil : de ruimtelijk gemiddelde waterstand van het Markermeer [m + NAP];
Windsnelheid : de potentiële windsnelheid van Schiphol in [m/s];
h,teen : waterstand op de doorgerekende locatie in m+NAP na eventuele transformatie over een voorland;
H_{s,teen} : significante golfhoogte in m na eventuele transformatie over een dam en/of voorland;
Tm-1,0 : spectrale golfperiode in s na eventuele transformatie over een voorland;
Golfrichting : golfrichting in graden t.o.v. Noord na eventuele transformatie over een voorland;
Overschrijdingsfrequentie: overschrijdingsfrequentie van het hydraulisch belastingniveau voor de bijbehorende windrichting in gemiddeld aantal keer per winterhalfjaar en als percentage.

B.3 Resultaten hydraulische randvoorwaarden

Tabel B-9: Overzicht resultaten scenario 1,2,3,4

Parameter	Eenheid	Scenario 1: (Illustratiepunt HAV2)	Scenario 2: (Illustratiepunt BUE3)	Scenario 3: (Illustratiepunt HAV2)	Scenario 4: (Illustratiepunt BUE3)
		Hydra M	Hydra M	Hydra Zoet	Hydra Zoet
Windrichting	[-]	NO	NO	NO	NO
Windsnelheid	[m/s]	-	-	20.6	20.4
Waterstand	[m]	-	-	0.73	0.62
Hs	[m]	0.72	0.99	0.54	1.18
Tp	[s]	2.61	4.01	2.2	3.9

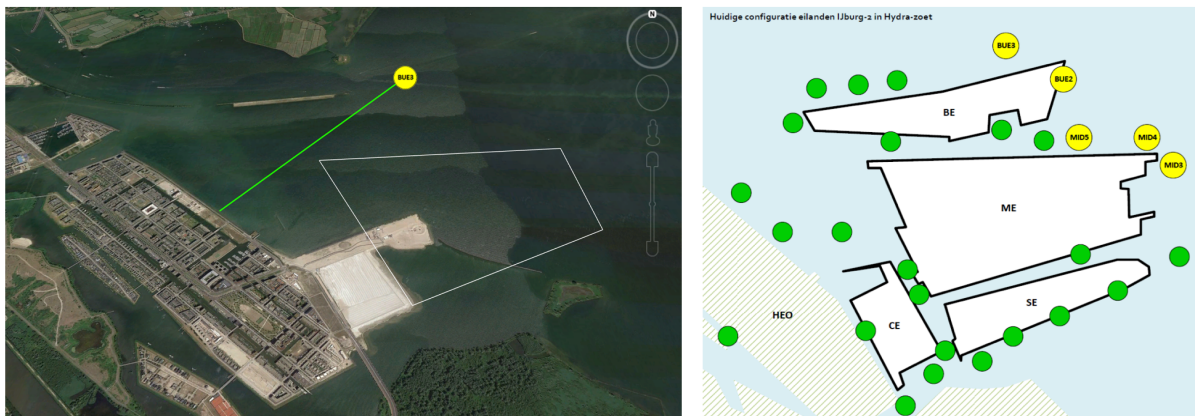
C

SwanOne

SwanOne transformeert golven van diep water naar golfparameters van ondiep water met behulp van de 1D-modus van het volledige SWAN-model. Het maakt gebruik van een grafische gebruikersinterface om het gebruik van de SWAN te vereenvoudigen (TU Delft, 2016). De 1D modus veronderstelt dat de diep water bathymetrie kan worden vertegenwoordigd door parallelle bodem contouren zodanig dat het onderste profiel kan worden gespecificeerd langs een normaal naar de kustlijn. SwanOne wordt gebruikt voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden bij de teen van de waterkering Haveneiland west om vervolgens de waterveiligheidsstatus te kunnen bepalen. Scenario 4 is hiervoor relevant:

■ **Scenario 4:** Waterveiligheidsstatus uitgaande de afwezigheid van Buiteneiland, conform de nieuwe normering.

Met behulp van Hydramodel Hydra Zoet zijn de hydraulische randvoorwaarden bepaald voor Illustratiepunt BUE3, welke dienen als randvoorwaarden voor het programma SwanOne. Ter verduidelijking wordt in Figuur C-1 een bovenaanzicht van het plangebied als een schets gegeven met zichtbaar eilandenconfiguratie IJburg en de Illustratiepunten. Figuur C-2 illustreert de groene lijn op de x-as, waarbij de methodiek per traject worden weergegeven.



Figuur C-1: Bovenkant van het plangebied: eilandenconfiguratie IJburg en Illustratiepunten

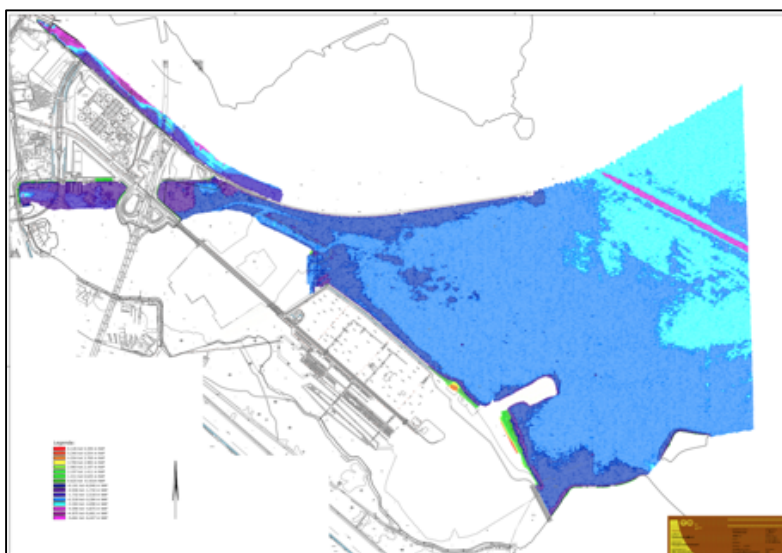


Figuur C-2: Methodiek per traject (BUE3-IJburgbaai-teen waterkering Haveneiland West) golfontwikkeling IJburgbaai

C.1 Bodemprofiel

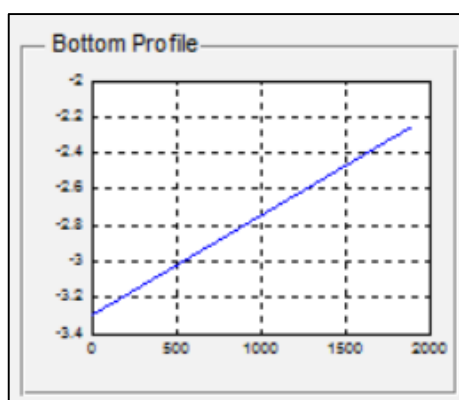
Figuur C-3 toont de bathymetrie van het plangebied IJburg. De legenda bevat de volgende informatie:

- Paars – 5.5-6.6 m turquoise – 3.3-4.1 m;
- Lichtblauw – 2.5-3.3 m;
- Donkerblauw – 1.7-2.25 m.



Figuur C-3: Bathymetrie systeemgebied IJburg

Hieruit volgt het volgende bodemprofiel voor de berekening in SwanOne, Figuur C-4.



Figuur C-4: SwanOne; bodemprofiel

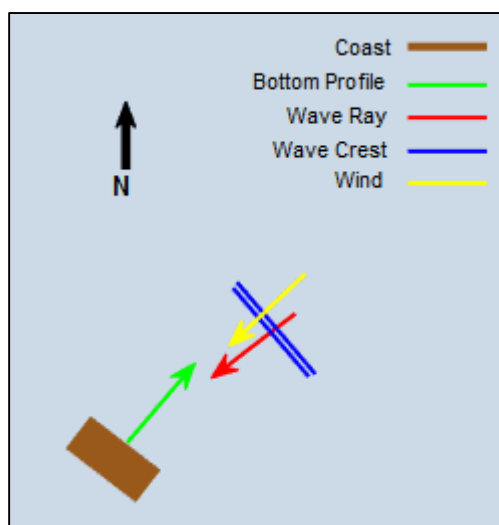
C.2 Hydraulische randvoorwaarden

In Appendix B – Hydra Modellen, zijn de waterstand, golf- en windparameters voor Illustratiepunt BUE3 bepaald. Dit zijn tevens de invoerwaarden van de golfontwikkeling

Tabel C-1: SwanOne; hydraulische randvoorwaarden BUE3

Parameter	Eenheid	Waarde
Waterstand	[m]	0,62
Windsnelheid	[m/s]	20,6
Windrichting	[°]	45
Significante golfhoogte	[m]	1,18
Piekperiode	[s]	3,9
Golfrichting	[°]	51

De hydraulische randvoorwaarden maatgevend voor SwanOne geeft de volgende profielschets; Figuur C-5.



Figuur C-5: SwanOne; profielschets ten opzichte van Noord

C.3 Resultaten

Na invoering van bovenstaande randvoorwaarden in programma SwanOne worden de resultaten verkregen gepresenteerd in Tabel C-2. De resultaten staan representatief voor de hydraulische randvoorwaarden bij de teen van de waterkering van Haveneiland West.

Tabel C-2: SwanOne; Hydraulische randvoorwaarden teen waterkering Haveneiland West

Randvoorwaarden HEW, teen	Eenheid	Waarde
Golfhoogte	[m]	1.03
Piekperiode	[s]	3.9
Golfrichting	[°]	48

D

PC Overslag

Voor het berekenen van de benodigde kruinhoogte van een primaire kering wordt gebruik gemaakt van Technisch Rapport Golfloop en Golfoverslag bij Dijken uitgegeven door de Technische Adviescommissie Waterkeringen. Omdat een dijktafud ingewikkeld kan zijn door meerdere taludhellingen, bermen en taluddelen met verschillende ruwheden, is het programma PC Overslag ontwikkeld. Dit programma is gebaseerd op de formules uit het Technisch Rapport Golfloop en Golfoverslag bij Dijken (van der Meer, 2002).

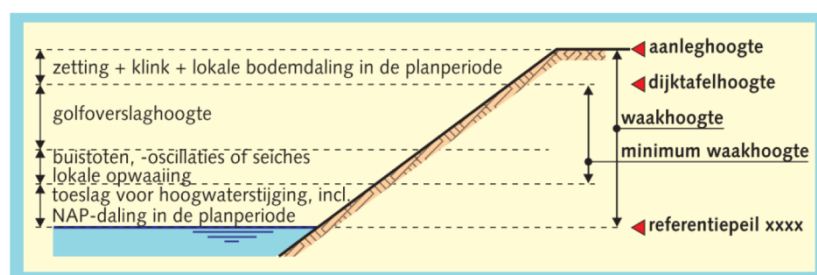
In deze Appendix worden de algemene formules van golfloop en golfoverslag toegelicht waarna wordt beschreven op welke wijze, met behulp van het programma PC Overslag, de benodigde kruinhoogte van Haveneiland West is verkregen.

D.1 Golfloop en golfoverslag

De aanleghoogte van de kruin wordt bepaald door middel van Leidraad Zee- en Meerdijken (van der Meer, 2002), en is samengesteld uit de volgende bijdragen:

- Het referentiepeil met een overschrijdingskans overeenkomstig de wettelijke norm: het ontwerppeil of toetspeil;
- Hoogwater- of meerpeilstijging over de ontwerpperiode;
- Lokaal verwachte bodemdaling over de ontwerpperiode;
- Toeslag voor bui-oscillaties, buistoten of seiches en lokale opwaaiing;
- Verwachte kruindaling door klink van het dijklichaam en zetting van de ondergrond over de ontwerpperiode;
- Golfloophoogte of een golfoverslaghoogte.

Figuur D-1 toont de aspecten van belang bij een berekening of beoordeling van de dijkhoogte.



Figuur D-1: Aspecten beoordeling dijkhoogte (van der Meer, 2002)

D.1.1 Algemene formule golfloop

De relatieve oploop wordt meestal gegeven als een functie van de brekerparameter, die wordt gedefinieerd door:

Vergelijking D-1: Brekerparameter

$$\varepsilon_0 = \tan \alpha / \sqrt{s_0}$$

Waarin:

- ε_0 : brekerparameter [-]
- α : hoek van talud [°]
- s_0 : golfstijlheid: $s_0 = 2 \pi H_{m0} / (g T^2 m^{-1,0})$

De relatieve golfoploop $\frac{z_{2\%}}{H_{m0}}$ is afhankelijk van de brekerparameter ε_0 een drietal invloed factoren voor respectievelijk een berm, ruwheid op het talud en scheve golfaanval. De algemene formule die kan worden toegepast voor golfoploop op dijken, voor $0.5 < \varepsilon_0 \gamma_0 < 1.8$ wordt gegeven door:

Vergelijking D-2: Algemene formule golfoploop (formule 3a: $0.5 < \varepsilon_0 \gamma_0 < 1.8$)

$$\frac{z_{2\%}}{H_{m0}} = 1.75 * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \varepsilon_0$$

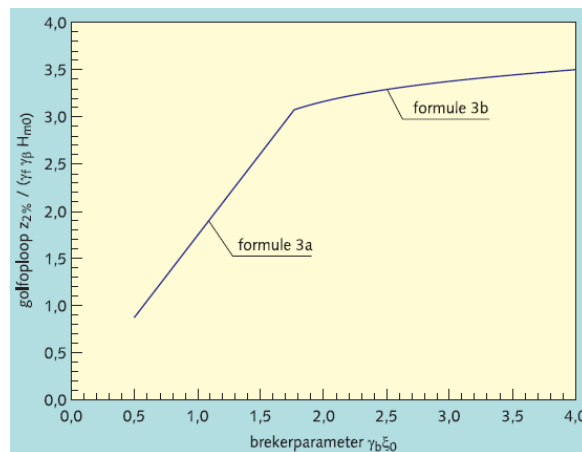
Met een maximum voor grotere van $1.8 < \varepsilon_0 \gamma_0 < 8$:

Vergelijking D-3: Algemene formule golfoploop; maximumwaarden (formule 3b: $1.8 < \varepsilon_0 \gamma_0 < 8$)

$$\frac{z_{2\%}}{H_{m0}} = \gamma_b * \gamma_f (4.3 - 1.6/\sqrt{\varepsilon_0})$$

Waarin:

$z_{2\%}$	: 2%- significante golfoploop boven stilwaterlijn [m]
H_{m0}	: significante golfhoogte bij de teen van de dijk [m]
ε_0	: brekerparameter [-]
γ_b	: invloed factor voor berm [-]
γ_f	: invloed factor voor ruwheid van het talud [-]
γ_β	: invloed factor voor scheve golfaanval [-]



Figuur D-2: Golfoploop als functie van brekerparameter

D.1.2 Algemene formule golfoverslag

De algemene formule die kan worden toegepast bij golfoverslag op dijken wordt gegeven door twee formules: Vergelijking D-4 en Vergelijking D-5. De golfoverslag is bij niet-brekende golven niet meer afhankelijk van de brekerparameter. De formule voor brekende golven is geldig totdat dit maximum wordt bereikt. Dit is in de buurt van $\gamma_b * \varepsilon_0 = 2$. De formules zijn geïmplementeerd in het programma PC Overslag en gebruikt voor het onderzoek.

Vergelijking D-4: Golfoverslag; brekende golven

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b * \varepsilon_0 * \exp \left(-4.3 * \frac{h_k}{H_{m0}} \frac{1}{\varepsilon_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v} \right)$$

Vergelijking D-5: Golfoverslag; niet-brekende golven

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0.2 * \exp \left(-2.3 * \frac{h_k}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f * \gamma_\beta} \right)$$

Waarin:

- q : gemiddelde golfverslagdebiet [$\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$]
g : versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]
 H_{mo} : significante golfhoogte bij de teen van de dijk [m]
 h_k : vrije kruinhoogte boven de stilwaterlijn [m]

D.2 PC Overslag; technische uitgangspunten

De technische uitgangspunten relevant voor gebruik van het programma zijn:

- Maatvoering profiel;
- Hydraulische randvoorwaarden.

D.2.1 Maatvoering profiel

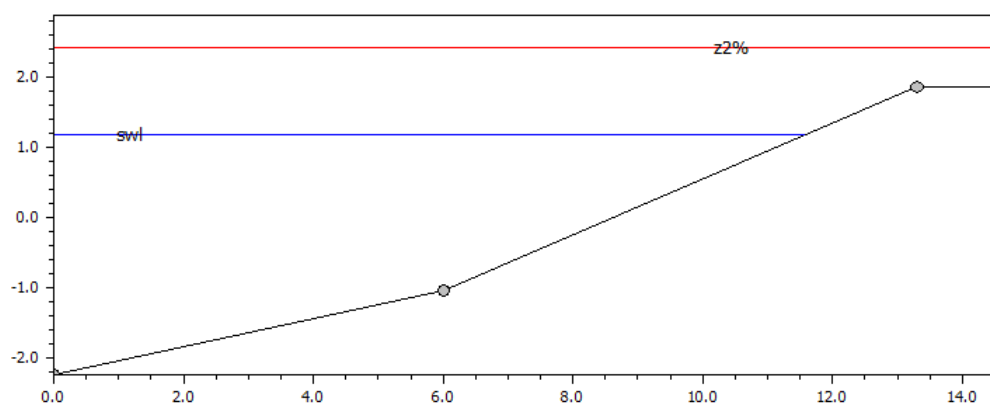
Het dijkprofiel Haveneiland West bevat de volgende eigenschappen:

- Kruinhoogte 1.85 meter;
- Dijknormaal 40 graden.

Tabel D-1 geeft het profiel weer geïmplementeerd in het programma PC Overslag. Figuur D-3 geeft een illustratie van het ingevoerd profiel.

Tabel D-1: PC Overslag; maatvoering profiel

Afstand	Hoogte	Afstand	Hoogte	Helling	Materiaal	Ruwheidsfactor
0	-2,25	6	-1.05	5	Breuksteen	0,55
6	-1,05	13,3	1,85	2,5	Breuksteen	0,55



Figuur D-3: PC Overslag; maatvoering profiel

D.2.2 Hydraulische randvoorwaarden

Tabel D-2 presenteert de hydraulische randvoorwaarden voor de berekening van de benodigde kruinhoogte met behulp van de TAW-methode. De hydraulische parameters zijn verkregen uit programma Hydra Zoet (Appendix B: Hydra Modellen). Daarnaast is het effect van de IJburgbaai op de hydraulische randvoorwaarden bepaald met programma SwanOne (Appendix C: SwanOne).

Voor de volgende scenario's zijn de vereiste kruinhoogten berekend:

- **Scenario 3**; conform OI2014, totale configuratie eilanden:
 - Maximum overslagdebiet 5 [$\text{l}/\text{m}/\text{s}$]; Illustratiepunt HAV2
 - Maximum overslagdebiet 10 [$\text{l}/\text{m}/\text{s}$]; Illustratiepunt HAV2

- **Scenario 4**; conform OI2014, afwezigheid Buiteneiland:
 - Maximum overslagdebiet 5 [l/m/s]; Illustratiepunt BUE3
 - Maximum overslagdebiet 5 [l/m/s]; teen waterkering HEW (resultaten SwanOne)
 - Maximum overslagdebiet 10 [l/m/s]; Illustratiepunt BUE3
 - Maximum overslagdebiet 10 [l/m/s]; teen waterkering HEW (resultaten SwanOne)

Tabel D-2: PC Overslag; hydraulische randvoorwaarden Hydra Zoet en SwanOne

Parameter	Eenheid	Illustratie punt BUE3	Illustratie punt BUE3	Illustratie punt HAV2	Illustratie punt HAV2	HEW,teen	HEW,teen
		Hydra Zoet	Hydra Zoet	Hydra Zoet	Hydra Zoet	SwanOne	SwanOne
Overslagdebiet	[l/s/m]	5	10	5	10	5	10
Waterstand	[m+NAP]	0,62	0,62	0,72	0,73	0,62	0,62
Golfhoogte	[m]	1,17	1,18	0,54	0,54	1,03	1,03
Piekperiode	[s]	3,9	3,9	2,2	2,2	3,9	3,9
Golfrichting	[°]	51	51	47	47	47	47
Golfinval	[°]	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Windrichting	[°]	45	45	45	45	45	45
Windrichting	[°]	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Windsnelheid	[m/s]	20,2	20,4	20,6	20,6	20,6	20,6

Bij het ontwerp van de waterkering dient rekening gehouden te worden met model onzekerheden en statistische onzekerheden. Deze beide onzekerheden zijn verwerkt in onzekerheidstoelagen. De onzekerheidstoelagen worden getoond in Tabel D-3 en zijn verwerkt in Tabel D-4.

Tabel D-3: Hydraulische randvoorwaarden; marges en onzekerheden

Parameter	Eenheid	Onzekerheidstoelage
Waterstand	[m]	0.4
Golfhoogte	[%]	10
Piekperiode	[%]	10

Na het verwerken van de marges en onzekerheden zijn de hydraulische randvoorwaarden voor PC Overslag te zien in Tabel D-4.

Tabel D-4: PC Overslag; hydraulische randvoorwaarden

Parameter	Eenheid	BUE3	BUE3	HAV2	HAV2	HAV,teen SwanOne	HAV,teen SwanOne
Belasting inclusief waterstand	niveau toeslag [m+NAP]	1.020	1.020	1.120	1.130	1.020	1.020
Golfhoogte	[m]	1.287	1.298	0.594	0.594	1.133	1.133
Golfperiode	[s]	4.290	4.290	2.420	2.420	4.290	4.290
Gemiddelde golfperiode Tm	[s]	4.033	4.033	2.275	2.275	4.033	4.033

D.3 PC Overslag; resultaten

Tabel D-5 presenteert een overzicht van alle uitgangspunten voor beoordeling van de waterkering Haveneiland West.

Tabel D-5: Uitgangspunten beoordeling waterkering Haveneiland West

	Eenheid	Waarde
Norm/signaleringswaarde	[1/jaar]	1/300
Afkeurkans	[1/jaar]	1/100
Faalkanseis	[1/jaar]	1/830
Zichtjaar	[jaar]	2071
Totale meerpeilstijging tot 2121	[m]	0,18
Onzekerheidstoelag waterstand	[m]	0,4
Onzekerheidstoelag golfhoogte en golfperiode	[%]	10
Overslagdebiet	[l/s/m]	10
Toeslag slingeren	[m]	0,1
Robuustheidstoelag ^{*1}	[m]	0,3

^{*1} Robuustheidstoelag gevraagd aan Ingenieursbureau Amsterdam vanuit de beheerder Waternet voor alle te ontwerpen keringen met betrekking tot IJburg.

Tabel D-6 geeft een overzicht van alle invoer- en uitvoerwaarden voor de volgende scenario's:

- Scenario 3; conform OI2014, totale configuratie eilanden:
 - Maximum overslagdebiet 5 [l/m/s]; Illustratiepunt HAV2 (teen waterkering HEW)
 - Maximum overslagdebiet 10 [l/m/s]; Illustratiepunt HAV2 (teen waterkering HEW)
- Scenario 4; conform OI2014, afwezigheid Buiteneiland:
 - Maximum overslagdebiet 5 [l/m/s]; Illustratiepunt BUE3 (buiten IJburgbaai)
 - Maximum overslagdebiet 5 [l/m/s]; teen waterkering HEW (inclusief golfontwikkeling IJburgbaai)
 - Maximum overslagdebiet 10 [l/m/s]; Illustratiepunt BUE3 (buiten IJburgbaai)
 - Maximum overslagdebiet 10 [l/m/s]; teen waterkering HEW (inclusief golfontwikkeling IJburgbaai)

Tabel D-6: PC Overslag; overzicht in- en uitvoerwaarden scenario 3 en 4 (overslagdebiet 5 [l/m/s] en 10 [l/m/s])

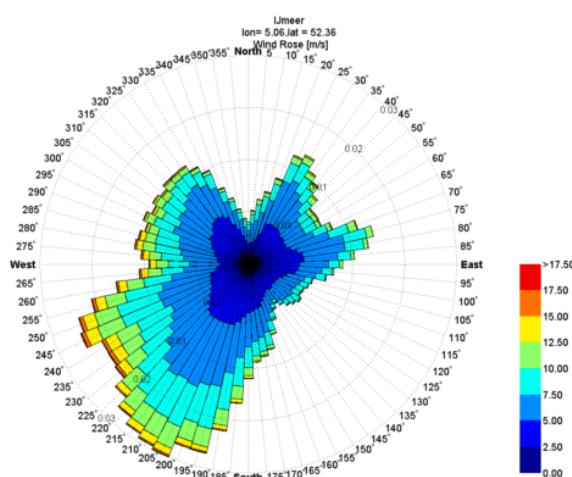
Parameter	Eenheid	BUE3	BUE3	HAV2	HAV2	HAV,teen (SwanOne)	HAV,teen (SwanOne)
Hydra Zoet; uitvoerwaarden							
Klimaatscenario	[jaar]	2121	2121	2121	2121	2121	2121
Type berekening	[-]	Overslag	Overslag	Overslag	Overslag	Overslag	Overslag
Profiel dijknormaal	[°]	40	40	40	40	40	40
Overslagdebiet	[l/s/m]	5	10	5	10	5	10
Waterstand	[m+NAP]	0.62	0.62	0.72	0.73	0.62	0.62
Terugkeertijd	[jaar]	833	833	833	833	833	833
Golfhoogte	[m]	1.17	1.18	0.54	0.54	1.03	1.03
Piekperiode	[s]	3.9	3.9	2.2	2.2	3.9	3.9
Golfrichting	[°]	51	51	47	47	47	47
Golfinval	[°]	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Windrichting	[°]	45	45	45	45	45	45
Windrichting	[°]	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Windsnelheid	[m/s]	20.2	20.4	20.6	20.6	20.6	20.6
Toeslagen Modelonzekerheden Hydra Zoet							
Robuustheidstoelag waterstand	[m]	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
Onzekerheidstoelag golfhoogte en golfperiode	[%]	10	10	10	10	10	10
PC Overslag; invoerwaarden							
Belasting niveau inclusief toeslag waterstand	[m+NAP]	1.020	1.020	1.120	1.130	1.020	1.020
Golfhoogte	[m]	1.287	1.298	0.594	0.594	1.133	1.133
Golf piekperiode	[s]	4.290	4.290	2.420	2.420	4.290	4.290
Gemiddelde golfperiode T _m	[s]	4.033	4.033	2.275	2.275	4.033	4.033
PC Overslag; uitvoerwaarden							
Belastingniveau uit PC Overslag inclusief robuustheidstoelag waterstand	[m+NAP]	2.59	2.40	1.57	1.49	2.20	2.04
Toeslagen voor slingeren en robuustheidstoelag							
Toeslag voor slingeren	[m]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Robuustheidstoelag	[m]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Definitieve kruinhoogte primaire waterkering Haveneiland West							
Definitieve kruinhoogte	[m+NAP]	2.99	2.80	1.97	1.89	2.60	2.44
Afgeronde definitieve kruinhoogte	[m+NAP]	3.00	2.80	2.00	1.90	2.60	2.45

E

Informatie IJburg

E.1 Dagelijkse windcondities IJburg

Voor het bepalen van de benodigde kruinhoogte van de primaire kering zijn de maatgevende hydraulische randvoorwaarden relevant en worden deze bepaald uit extreme windcondities. Echter, voor morfologische ontwikkelingen zijn de dagelijkse golfcondities voortkomend uit de dagelijkse windcondities relevant. Figuur E-1 toont een windroos op basis van 35 jaar hindcast voor het IJmeer. In tegenstelling tot de maatgevende wind condities Noordoost, zijn de dagelijkse windcondities jaarrond Zuidwest.



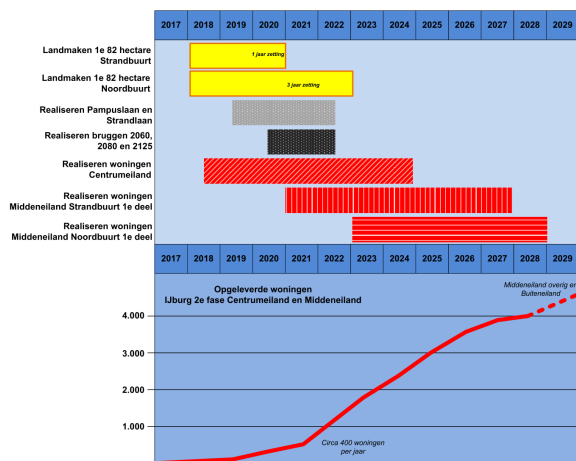
Figuur E-1: Windroos op basis van 35 jaar hindcast afkomstig uit HIRLAM voor IJmeer (Poortman et al., 2016)

E.2 Planning schema Middeneiland

IJburg 2e fase Middeneiland

1e 80 hectare
Planningsschema

8 december 2016



Figuur E-2: Planningsschema Middeneiland

F

Evaluatie conceptueel

In deze appendix worden in de eerste, tweede en derde paragrafen de effectenmatrixen voor respectievelijk engineering, ecologie en recreatie getoond. In de vierde paragraaf worden de kosten voor de ontwerpen gespecificeerd. Tenslotte, wordt de MCA weergegeven.

F.1 Effecten matrix wensen primaire functie; waterveiligheid

Tabel F-1: Effectenmatrix wensen primaire functie; waterveiligheid

	Redelijke kosten	Betrouwbaarheid	Implementeerbaarheid	Aanpassingsvermogen	Veerkracht
<i>Oplossing 0: Dijkverhoging</i>	op locatie zand en stortsteen aanbrengen. Weinig beheer en onderhoud	traditioneel ontwerp	traditioneel ontwerp	nieuw technisch ontwerp	statisch ontwerp
<i>Oplossing 1: IJmeer Wadden</i>	complex en grote omvang. Innovatie vraagt onderhoud	luwe zijde is dynamisch	complex door slib als grondstof en afwijkend contouren Buiteneiland	nieuw technisch ontwerp	statisch ontwerp
<i>Oplossing 2: Zandbank</i>	alleen zand aanbrengen. Hoge onderhoudskosten door frequentie zandsuppletie	geheel ontwerp in dynamisch	opspuiten zand beproefde methode en binnen de contouren van zandeiland	dynamisch aspect biedt mogelijkheden	zandsuppletie noodzakelijk
<i>Oplossing 3: Zandeiland</i>	alleen zand en stortsteen. luwe zijde vraagt om beheer	luwe zijde is dynamisch	opspuiten zand en aanleggen strekdam beproefde methode en binnen de contouren van zandeiland	veranderingen makkelijk toepasbaar door eenvoud ontwerp	zandsuppletie
<i>Oplossing 4: Groenstrand</i>	Grote aanpassing kering en aanleg strekdammen. Frequent beheer	geheel ontwerp in dynamisch	innovatief ontwerp en nieuwe visie, mogelijke opspraak bewoners door toenemende drukte	dynamisch aspect biedt mogelijkheden	geen verlies sediment
<i>Oplossing 5: Natuureiland</i>	hoge aanlegkosten (eerste deel landmaken Buiteneiland), weinig beheer	statisch ontwerp	traditioneel ontwerp en binnen contouren Buiteneiland	nieuw technisch ontwerp	statisch ontwerp

F.2 Effecten matrix wensen secundaire functie; ecologie

Tabel F-2: Effectenmatrix wensen secundaire functie; ecologie

	Continuïteit	Geen directe menselijke storing	Endogeniteit	Levensvatbaarheid populatie	Kansen voor bedreigde soorten	Voedselweb	Ecologische successie	Waterkwaliteit	Veerkracht
<i>Oplossing 0: Dijkverhoging</i>	niet van toepassing	niet van toepassing	niet van toepassing	niet van toepassing	niet van toepassing	niet van toepassing	niet van toepassing	niet van toepassing	niet van toepassing
<i>Oplossing 1: IJmeer Wadden</i>	stepping stone	luwe zijde toegang mens	ruï -en rustgebied watervogels	definitieve natuur	ruï -en rustgebied watervogels	ruï -en rustgebied watervogels	climax vegetatie	afname slibgehalte in systeem	statisch karakter
<i>Oplossing 2: Zandbank</i>	stepping stone	toegang mens (winter kansen, slecht bereikbaar)	ruï -en rustgebied watervogels	kansen voor watervogels	ruï -en rustgebied watervogels	ruï -en rustgebied watervogels	pionier vegetatie	niet van toepassing	dynamisch karakter ontwerp
<i>Oplossing 3: Zandeiland</i>	stepping stone	toegang mens (winter kansen, slecht bereikbaar)	ruï -en rustgebied watervogels	kansen voor watervogels	ruï -en rustgebied watervogels	ruï -en rustgebied watervogels	pionier vegetatie	niet van toepassing	dynamisch karakter ontwerp
<i>Oplossing 4: Groenstrand</i>	land-water overgang	deels toegang mens	mosselbanken op locatie	bedreiging mosselen	mosselbanken op locatie	mosselbanken op locatie	pionier vegetatie	verhoging slib afwezigheid mosselbanken	dynamisch karakter ontwerp
<i>Oplossing 5: Natuureiland</i>	stepping stone	volledige bestemming natuur	ruï -en rustgebied watervogels	definitieve natuur	ruï -en rustgebied watervogels	ruï -en rustgebied watervogels	climax vegetatie	niet van toepassing	statisch karakter ontwerp

F.3 Effecten matrix wensen secundaire functie; recreatie

Tabel F-3: Effecten matrix wensen secundaire functie; recreatie

	Natuurbeleving	Watersport
<i>Oplossing 0: Dijkverhoging</i>	niet van toepassing	niet van toepassing
<i>Oplossing 1: IJmeer Wadden</i>	vogels spotten, toegang luwe zijde	kite-, surf-, zwemgelegenheid luwe zijde
<i>Oplossing 2: Zandbank</i>	vogels spotten voor bootpassanten	kite-, surf-, zwemgelegenheid
<i>Oplossing 3: Zandeiland</i>	vogels spotten voor bootpassanten	kite-, surf-, zwemgelegenheid luwe zijde
<i>Oplossing 4: Groenstrand</i>	stadspark, stadsstrand	kite-, surf-, zwemgelegenheid luwe zijde
<i>Oplossing 5: Natuureiland</i>	vogels spotten voor bootpassanten	niet van toepassing

F.4 Kostenoverzicht

De kosten zijn geïnventariseerd aan de hand van gebruikte vuistregels door Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam (Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam, 2017). Deze zijn als volgt:

- De aanlegkosten voor een strekdam per meter zijn: 1000 €/m;
- De aanlegkosten per volume zand is: 10 €/m.

De volgende aantekeningen zijn van belang met betrekking tot het kostenoverzicht:

- Naast de aanlegkosten worden er kosten gemaakt voor beheer en onderhoud. Deze kosten zijn niet gekwantificeerd en worden aanbevolen voor verder onderzoek.
- IJmeer Wadden bestaat uit een atol van zandbanken gevuld met slib. Dit is een nieuwe techniek, alleen eerder toegepast voor Marker Wadden. Hierdoor is grote onzekerheid over de kosten en betreft de waarde een minimale waarde.

Tabel F-1 geeft een overzicht van de resultaten weer.

Tabel F-4: Kostenoverzicht alternatieven

Parameter	Eenheid	€/eenheid	Dijkverhoging	IJmeer Wadden	Zandbank	Zandeiland	Groenstrand	Natuureiland
Lengte strekdam	[m]	1000	1400	560	0	800	300	1400
Volume zand	[m ³]	10	14000	840000	300000	300000	189000	490000
Totaal aanlegkosten	[€]		1.540.000	8.960.000	3.000.000	3.800.000	2.190.000	6.300.000