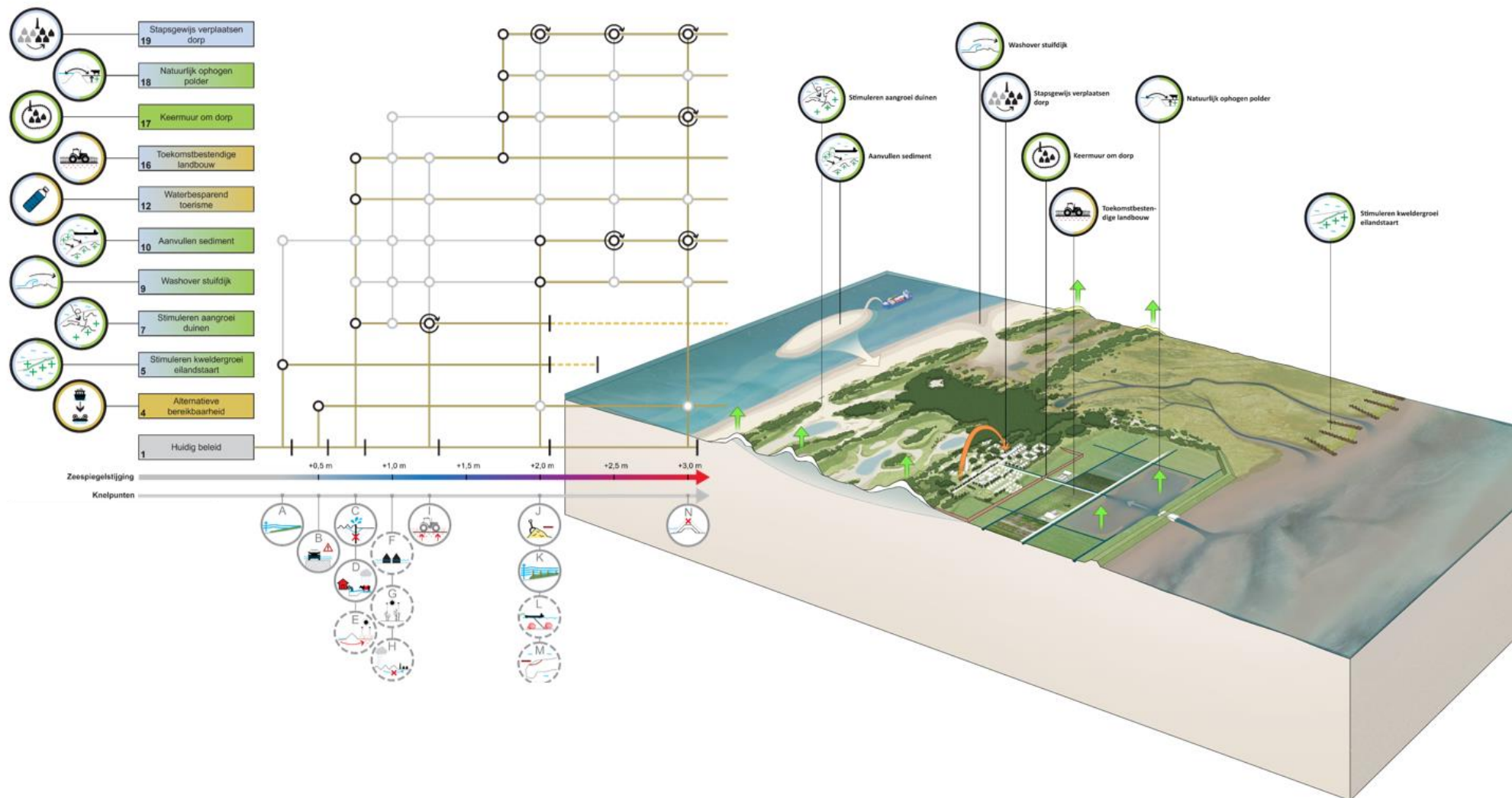


Toekomstbestendig Schiermonnikoog

Adaptieve lange termijn strategieën voor toekomstbestendige investeringsbeslissingen





Dijk- en duinversterking Schiermonnikoog, Pilot Adaptief werken – I10005-100	
Registratienummer	S0054
Titel document	Toekomstbestendig Schiermonnikoog
Ondertitel	Adaptief werken Schiermonnikoog
Datum	9 juli 2024
Versie	1.2
Status	Definitief
Opgesteld door / datum Verbeeldingen en visualisaties	Tijmen Blom, Nikéh Booister, Thijs Vrinds, Rob Nijholt Stefan Vermeulen, Durk de Vries, Anouk Potters
Controle door / datum	Nikéh Booister, Nelleke Zuideveld-Venema, Xandrie Borgmans-Zemel
Vrijgave	Laurens van der Schraaf
Vastgesteld opdrachtgever	Nelleke Zuideveld-Venema





Managementsamenvatting

Investerings van nu hebben invloed op de inrichtingen in de toekomst. We staan voor grote opgaven zoals de energietransitie, de landbouwtransitie en de woningbouwopgave. Ons water- en bodemsysteem is een belangrijke onderlegger voor hoe we de samenleving nu en in de toekomst inrichten. Als gevolg van klimaatverandering komt de samenleving steeds verder onder druk te staan. Hoeveel en hoe snel het klimaat verandert, is onzeker. Juist deze onzekerheid vraagt om vooruit kijken: wat zijn mogelijke toekomst, hoe kunnen we ervoor zorgen dat we ruimte houden om ons aan te passen en hoe zorgen we er voor dat we geen spijt krijgen van investeringen die we nu doen.

Strategieën met adaptatiepaden opgesteld

In het pilot project adaptief werken worden strategieën beschreven waarmee Schiermonnikoog, met het oog op klimaatverandering, ook in de toekomst een leefbaar eiland blijft. De beschreven lange termijn strategieën, op basis van adaptatiepaden, benadrukken het belang van een lange termijn visie en laten zien wat bijbehorende geen- en weinig-spijt maatregelen voor de korte termijn kunnen zijn. Parallel aan dit traject wordt het Voorkeursalternatief (VKA) voor de dijk- en duinversterking van Schiermonnikoog uitgewerkt, er wordt expliciet ingegaan op wat de lange termijn strategieën betekenen voor deze aankomende investering.

Voor het maken van deze uitwerking zijn drie onderscheidende toekomstbeelden geschetst, in samenspraak met landelijke experts en specialisten uit de regio en van het eiland. Aan de hand van knelpunten en mogelijke maatregelen zijn deze uitgewerkt in adaptatiepadenkaarten. De strategieën zijn verbonden aan absolute zeespiegelstijging, de meest dominante klimaatfactor op Schiermonnikoog en heeft invloed op waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en daarmee landbouw, natuur en drinkwater. Schiermonnikoog staat als eiland tussen de Noordzee en de Waddenzee onder directe invloed van zeespiegelstijging. Ook andere klimaateffecten zoals droogte, hitte en wateroverlast hebben effect op het eiland. Deze klimaateffecten zijn meegenomen in de uitwerking. Op basis van verschillende klimaatscenario's (KNMI, 2023) zijn de adaptieve strategieën verbonden aan de tijd. In combinatie met doorlooptijden (tijd die nodig is om de maatregel gerealiseerd te krijgen) zijn implementatiepaden uitgewerkt.

Geen spijt en weinig spijt maatregelen voor de toekomstbestendigheid van Schiermonnikoog

Uit de adaptieve strategieën komt naar voren dat in elke strategie de natuurlijke aangroei van kwelders en duinen noodzakelijk is (geen spijt). Deze maatregelen vragen door het gebruik van de natuurlijke processen op en rondom het eiland om vroegtijdige implementatie. Uit deze studie komt naar voren dat zoetwaterbeschikbaarheid een van de belangrijkste randvoorwaarden is voor de leefbaarheid van Schiermonnikoog bij zeespiegelstijging. Het versterken van de natuurlijke dynamiek in de duinen en vasthouden van slib op de kwelders zorgen voor een langere beschikbaarheid van zoetwater en versterken de natuurlijke gradiënten tussen zoet en zout.

Enkele weinig spijt maatregelen zijn bijvoorbeeld het plaatsen van een gemaal in combinatie met de nieuwe duiker, kunstmatige of natuurlijke ophoging van de polder, het verbreden van het dijkfundament en het stimuleren van toekomstbestendige landbouw. Afhankelijk van de gewenste toekomst op het eiland kunnen deze maatregelen meer of minder wenselijk zijn.



Link met het voorkeursalternatief voor de Dijk- en Duinversterking Schiermonnikoog

Voor de uitwerking van het VKA van de dijk- en duinversterking zijn een aantal maatregelen vanuit de adaptieve strategieën die zich lenen om meegenomen te worden in het VKA. Het stimuleren van natuurlijke aangroei van de duinen is een belangrijke maatregel die aansluit bij de huidige uitwerking van het VKA. Wanneer het wenselijk is de huidige functie van landbouw zo lang mogelijk te behouden in de polder is het verbreden van het dijkfundament een mogelijke maatregel. Door een substantiële verbreding van het dijkfundament te maken of een brede vooroever wordt de weg van zoute kwel verlengd en kan de polder langer zoet blijven. Hoe breed dit fundament of de vooroever moet zijn, zal verder moeten onderzocht. Binnen de scope van de Dijk- en Duinversterking valt het vervangen van de huidige duiker voor afwatering. Om in de toekomst water af te kunnen voeren bij hevige neerslag, kan het bij sommige adaptieve strategieën noodzakelijk zijn om een gemaal te plaatsen. Bij het plaatsen van een gemaal is een duiker noodzakelijk, het kan dus wenselijk zijn om ruimte te reserveren voor een gemaal. Daarnaast kan gekeken worden naar een andere vorm of afmeting van de duiker zodat deze in de toekomst eventueel gebruikt kan worden voor het ophogen van polders door middel van het wisselpolder concept. Wanneer niet gekozen wordt voor het verlengen van de kwelweg (vooroever of dijkfundament) of het ophogen van de polder zal eerder in de tijd overgegaan moeten worden naar toekomstbestendige landbouw.

Vervolg

Om Schiermonnikoog toekomstbestendig te maken is het, gezien de potentiële impact van zeespiegelstijging, cruciaal om nu proactieve stappen te zetten. Dit rapport biedt inzicht in de te nemen maatregelen waarmee toekomstige opties zo veel mogelijk open blijven. Het is van belang om in de toekomst meer kennis op te doen over fysische processen op en om het eiland en de gevolgen van klimaatverandering hier op. Hiermee kunnen adaptieve strategieën worden aangescherpt of kan worden overgestapt op andere strategieën.

Ook is het van belang de resultaten van dit onderzoek regelmatig te herijken. Als gevolg van voortschrijdend inzicht of nieuwe kennis en ontwikkeling kan het zijn dat inzichten of resultaten veranderen. Het is dan goed de verschillende strategieën tegen het licht te houden en te bepalen of ze (inclusief maatregelen, knel- en knippunten) nog passen binnen de dan geldende verwachtingen van de toekomst en hiermee bij te sturen waar nodig en mogelijk.

Zo kan gezorgd worden voor een veerkrachtig en duurzaam Schiermonnikoog nu, de komende jaren en in de verre toekomst.



Inhoudsopgave

MANAGEMENTSAMENVATTING	1
1 INLEIDING	4
2 WATER EN BODEMSYSTEEM VAN SCHIERMONNIKOOG NU EN IN DE TOEKOMST	6
2.1 SCHIERMONNIKOOG OP HOOFDLIJNEN	6
2.2 HUIDIGE SITUATIE	7
2.3 KLIMAATVERANDERING	10
2.4 TOEKOMSTBEELDEN SCHIERMONNIKOOG	13
3 ADAPTIEVE STRATEGIEËN	18
3.1 KORTE TOELICHTING/INTRODUCTIE ADAPTATIEPADEN	18
3.2 ADAPTIEVE STRATEGIEËN VOOR SCHIERMONNIKOOG	20
4 ANALYSE ADAPTIEVE STRATEGIEËN	27
4.1 TOELICHTING IMPLEMENTATIEPADEN	27
4.2 IMPLEMENTATIEPADEN	28
4.3 STRATEGISCHE ADAPTATIEPADENKAART	31
5 TOE NAAR EEN TOEKOMSTBESTENDIG SCHIERMONNIKOOG	33
5.1 CONCLUSIE EN ADVIES	33
5.2 AANBEVELINGEN VOOR 1EILAUN PARTNERS	35
6 VERWIJZINGEN	37
BIJLAGE A: COMPLETE SYSTEEMBESCHRIJVING	39
BODEM EN ONDERGROND	39
HUIDIGE WATERSYSTEEM	42
EFFECTEN KLIMAATVERANDERING OP SCHIERMONNIKOOG	46
GEVOLGEN KLIMAATVERANDERING VOOR SCHIERMONNIKOOG	47
BIJLAGE B: KNELPUNTENLIJST	50
BIJLAGE C: MAATREGELENLIJST	53
BIJLAGE D: ADAPTATIEPADENKAARTEN	56
BIJLAGE E: DOORLOOPTIJDEN	60

1 Inleiding

Klimaatverandering leidt in de toekomst tot steeds meer knelpunten in de samenleving. Wanneer en hoe knelpunten optreden is afhankelijk van de mate en snelheid van de verandering. Ook Schiermonnikoog krijgt hier mee te maken. Investerings die nu gedaan worden hebben invloed op de inrichting en samenleving op Schiermonnikoog in 2100 en daarna. Het is van belang dat we nu vooruitkijken naar de lange termijn zodat we gesteld staan en de juiste investeringen doen. Dit rapport richt zich op de lange termijn aanpassing van Schiermonnikoog op klimaatverandering en hoe huidige keuzes hierop in spelen. Dit project is de eerste van een aantal pilot projecten onder het Kennisprogramma Zeespiegelstijging om de lange termijn te verbinden aan het heden. De opgedane praktijkervaring wordt gebruikt om een basis voor een klimaatrobuustheidstoets te ontwikkelen; een landelijk toe te passen methodiek voor het borgen van klimaatadaptatie binnen hedendaagse programma's en projecten, zoals het HWBP en DP Zoetwater.

De pilot Adaptief Werken Schiermonnikoog komt voort uit de verkenning voor de Dijk- en Duinversterking van Schiermonnikoog. In het lopende proces voor het uitwerken van een Voorkeursalternatief binnen de verkenning voor de Dijk- en Duinversterking van Schiermonnikoog wordt 50 jaar vooruitgekeken. Klimateffecten manifesteren zich echter ook over een termijn langer dan 50 jaar; de klimaatscenario's van het KNMI geven veranderingen met een zichttermijn van 100 tot 200 jaar. In het kader van deze lange termijn veranderingen (voorbij 2100) worden in deze pilot toekomstbeelden en strategieën naar deze mogelijke toekomst van Schiermonnikoog ontwikkeld. De strategieën richten zich op een leefbaar Schiermonnikoog, rekening houdend met de verwachte zeespiegelstijging. Om vanaf de huidige situatie naar toekomstbeelden te komen worden met behulp van adaptatiepaden strategieën geschetst. Door middel van toekomstbeelden, adaptatiepaden en terug redeneren in de tijd wordt in beeld gebracht wat toekomstbestendig en klimaatrobuust investeren voor het eiland op dit moment is, hierin ligt de basis voor de te ontwikkelen klimaatrobuustheidstoets. Het ontwikkelen van deze adaptatiepaden is losgetrokken van de Verkenning Dijk- en Duinversterking Schiermonnikoog om in de breedte alle kansen voor een toekomstbestendig en klimaatrobuust eiland te kunnen verkennen.



Figuur 1-1 Schiermonnikoog (bron: 1Eilaun)



Het doel van de pilot Adaptief Werken Schiermonnikoog is om strategieën uit te werken voor Schiermonnikoog die rekening houden met de verschillende klimaatscenario's van het KNMI. De strategieën worden door middel van de te ontwikkelen adaptatiepaden gekoppeld aan de huidige situatie en besluitvorming. De te ontwikkelen adaptieve strategieën geven hiermee input voor afweging en besluitvorming rond het Voorkeursalternatief (VKA) van de Verkenning Dijk- en Duinversterking Schiermonnikoog en mogelijk andere ontwikkelingen op Schiermonnikoog.

In deze pilot wordt gebruik gemaakt van bestaande kennis uit onder andere het Kennisprogramma Zeespiegelstijging, daar waar mogelijk worden de strategieën gelinkt aan de mate van zeespiegelstijging. De kennisleemtes in de bestaande kennis worden in deze pilot niet ingevuld, waar kennisleemten een significant effect op maatregelen of adaptatiepaden hebben zijn deze meegenomen in de aanbevelingen richting de partners van 1Eilaun.

Een dergelijke methodiek als hierboven beschreven en in dit rapport uitgewerkt kan in principe overal in Nederland toegepast worden. Een eiland als Schiermonnikoog leent zich echter uitermate goed als koploperproject; het eiland vormt een vrij overzichtelijk en compact systeem, waar vele functies, ontwikkelingen, plannen en initiatieven op een relatief klein oppervlak samenkomen. Elke vierkante meter telt op het eiland, elke ingreep is van invloed op één of meerdere systemen. Bovendien helpt het heel erg dat onder de bevolking van het eiland de betrokkenheid en het bewustzijn van de afhankelijkheid van het water- en bodemsysteem groot is; immers elke ingreep van enige omvang raakt direct een groot deel van de samenleving op het eiland.

2 Water en bodemsysteem van Schiermonnikoog nu en in de toekomst

In dit hoofdstuk is beschreven hoe het watersysteem van Schiermonnikoog en omgeving functioneert in de huidige en toekomstige omstandigheden met het oog op klimaatverandering. De werking van het water, morfologisch en ecologisch systeem nu en in de toekomst, is de basis om te komen tot strategieën naar de toekomst. Dit hoofdstuk geeft een samenvattende omschrijving van de situatie, in bijlage A is een uitgebreidere uitleg van verschillende deelsystemen gegeven. De inhoud van dit hoofdstuk is gebaseerd op bestaande onderzoeken. Daar waar onderzoek onvoldoende duiding van toekomstige situaties bevatte, is in samenwerking met verschillende experts invulling gegeven van de verwachte effecten in de toekomst.

2.1 Schiermonnikoog op hoofdlijnen

Schiermonnikoog is één van de Waddeneilanden langs de Nederlandse kust, welke samen met de eilanden voor de Duitse en Deense kust, een soort tweede kustlijn vormen. De Waddeneilanden vormen een scheiding tussen de Noordzee en de Waddenzee. De overgang van Noordzee naar Waddenzee uit zich op Schiermonnikoog door een natuurlijke gradiënt van noord naar zuid; dus hogere duinen aan de kant van de Noordzee en lageregelegen polders, kwelders en wadplaten aan de Waddenzee kant van het eiland. Beide zeeën kennen hun eigen dynamiek die het eiland van alle kanten beïnvloed. Het eiland wordt aan de westzijde beschermd door de dijk en de duinen. Aan de oostzijde groeit het eiland richting het oosten aan door sedimentatie (Waddenacademie, sd). Schiermonnikoog karakteriseert zich net als de andere Waddeneilanden door een strand en duinen aan de Noordzeekust en een dijk aan de Waddenzeekust. Binnenwaarts lopen de duinen over in de binnenduintrand die op hun beurt overlopen in de polder. Deze polder wordt afgeschermd door de dijk aan de zuidelijke kant van het eiland. De eilandstaart aan de oostzijde van het eiland is niet afgeschermd door een dijk. Dit gebied kenmerkt zich door kwelders die bij hoogwater overstroomd en bij laagwater droogvallen (Wetterskip Fryslân, 2023). Schiermonnikoog heeft, in vergelijking met andere Waddeneilanden, de meeste kenmerken van een Waddeneiland dat gevormd is door de werking van het water- en bodemsysteem. De andere eilanden zijn meer door menselijk handelen veranderd (Provincie Fryslân, 2017).

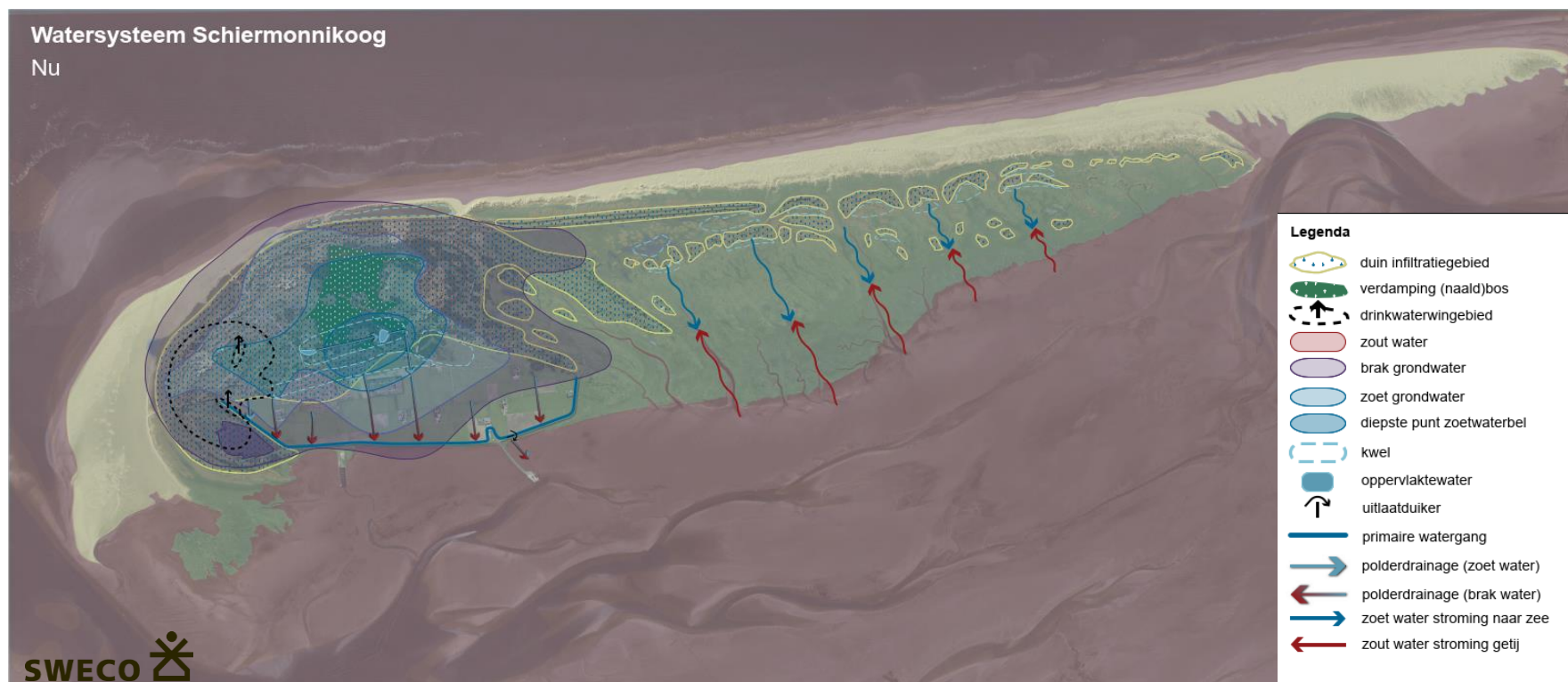
Op Schiermonnikoog staat de natuur centraal; het is de basis voor de toerismesector en een gezonde landbouw. Jaarlijks bezoeken ca. 300.000 toeristen het eiland om in de natuur te recreëren. Deze bezoekers bieden de belangrijkste inkomstenbron voor de kleine 1.000 inwoners op het eiland (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2014). Het toeristische beleid is gericht op de instandhouding van de huidige voorzieningen, en minder op sterke groei. Op deze manier blijft het eiland aantrekkelijk voor zowel bezoekers en bewoners. De agrarische sector op het eiland wordt gevormd door 7 veehouderijen. De veehouders zijn erg betrokken bij de ontwikkelingen op het eiland en sluiten zo veel mogelijk aan bij het behoud en stimuleren van natuurwaarden door natuur inclusieve landbouw; delen van weilanden zijn ingericht om weidevogels aan te trekken en bij het beheer van de kwelders wordt vee ingezet voor het maaibeheer (Nationaal park Schiermonnikoog, 2011).

2.2 Huidige situatie

Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste systemen die invloed hebben op de huidige en toekomstige inrichting van het eiland: het watersysteem, het morfologisch systeem en het ecosysteemwerking.

Zoet en zout water

In Figuur 2-1 is het huidige watersysteem van Schiermonnikoog schematisch weergegeven. Hier is een zoete kern te zien, omgeven door zout water. De zoete kern wordt gevormd door de zoetwaterlens onder de duinen, die naar de randen van het eiland steeds minder dik wordt. Vanuit de Waddenzee bestaat een zoute kweldruk richting de polder, waardoor het grondwater in de polder richting de dijk brakker wordt. Op de eilandstaart heerst een balans tussen zout water dat onder invloed van de getijden de eilandstaart op stroomt en zoet water dat vanuit de kleinere duinlichamen richting de Waddenzee stroomt.

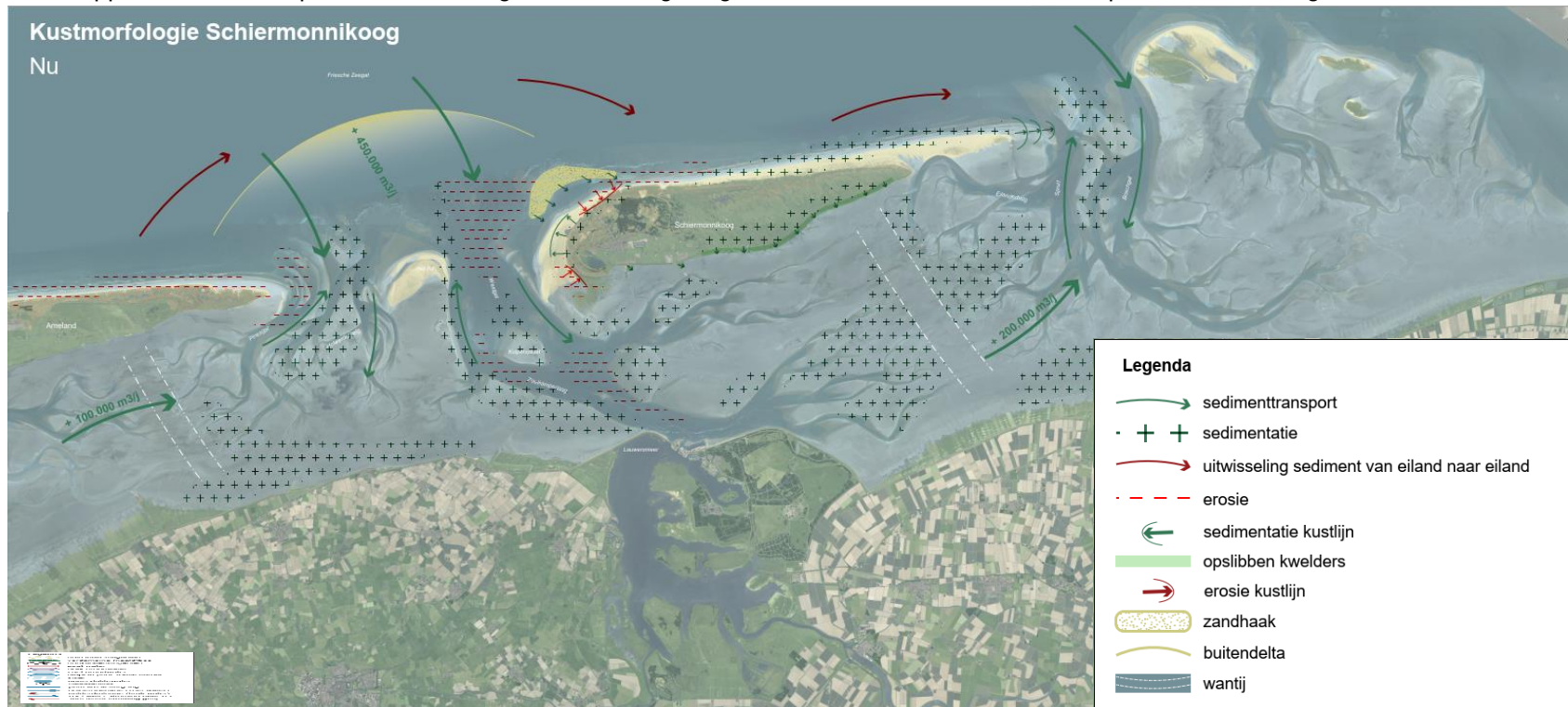


Figuur 2-1 - Schematische weergave huidig watersysteem

Kustmorphologie

In figuur 2-2 zijn de huidige kustmorphologische processen rondom Schiermonnikoog schematisch weergegeven. Op de figuur zijn de sedimentstromen in de Waddenzee te zien. De dominante sedimentstroming is van west naar oost. Zo wordt het sediment dat bij Ameland weg erodeert op Schiermonnikoog afgezet, en wat bij Schiermonnikoog weg erodeert wordt richting Rottumerplaat afgezet. Daarnaast is te zien dat de kop van Schiermonnikoog netto erodeert en de staart van het eiland netto aanzand, waardoor het eiland in een natuurlijke situatie naar verwachting richting het oosten zou migreren.

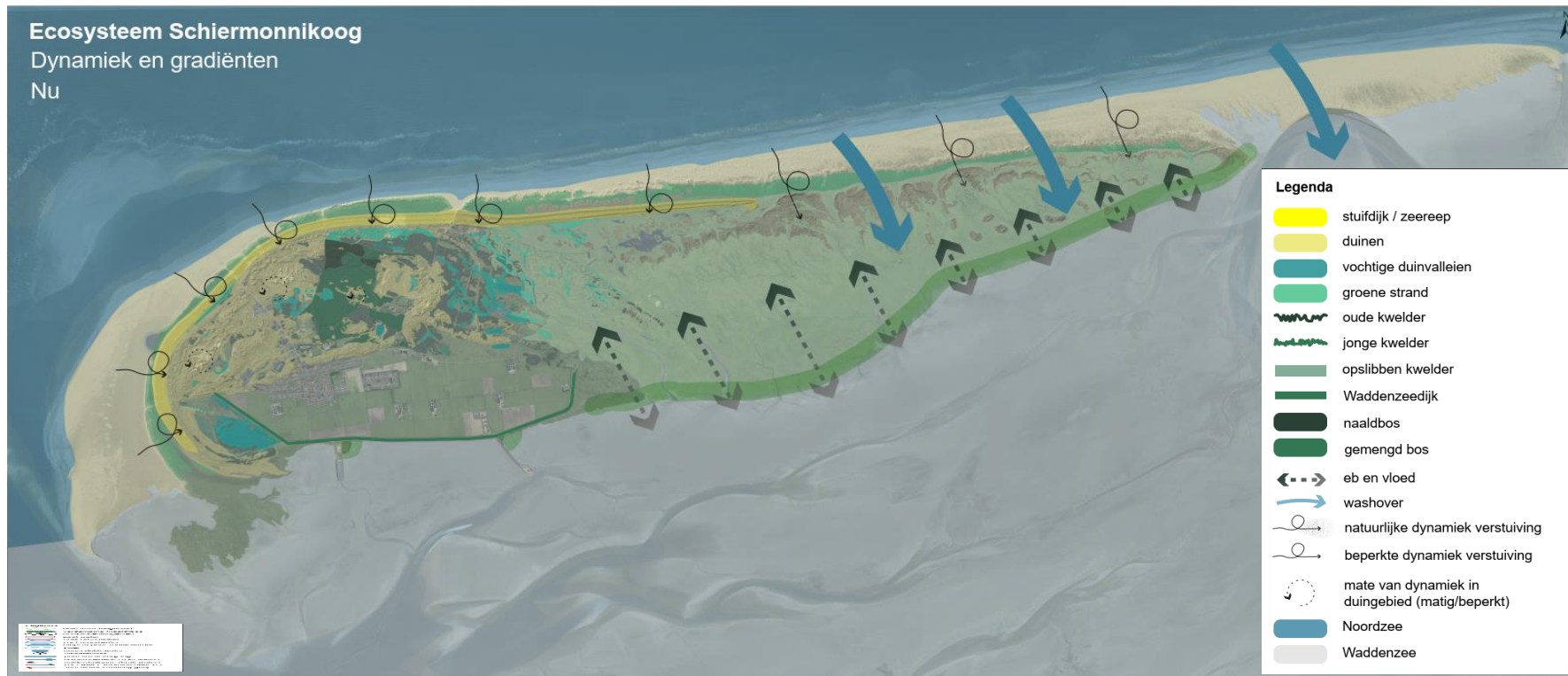
Voor Schiermonnikoog wordt momenteel niet direct gesuppleerd. Voor de kust van Ameland wordt wel gesuppleerd. Door de morfologische processen heeft deze suppletie wel effect op Schiermonnikoog, en komt als gevolg van erosie van Ameland terecht op Schiermonnikoog.



Figuur 2-2 - Schematische weergave huidige kustmorphologie

Ecosysteemwerking

In figuur 2-3 is de dynamiek van het ecosysteem en de belangrijkste natuurlijke processen weergegeven. Zo is de zien dat vanaf het strand aan de Noordzeezijde zand richting de kern van het eiland verstuift. Op de eilandstaart vinden ook enkele washovers plaats, waardoor de eilandstaart opslibt. De duinen rondom de kop worden aangevuld door de natuurlijke verstuiving, waardoor een divers duinlandschap ontstaan is. Dit gebied varieert van natte duinvalleien en bos tot drogere duinen. De variatie van natuurlijke dynamiek en systemen op het eiland zorgt er voor dat er vele habitats op het eiland zijn waar een grote verscheidenheid aan soorten gedijen. Het eiland kent dan ook een grote biodiversiteit.



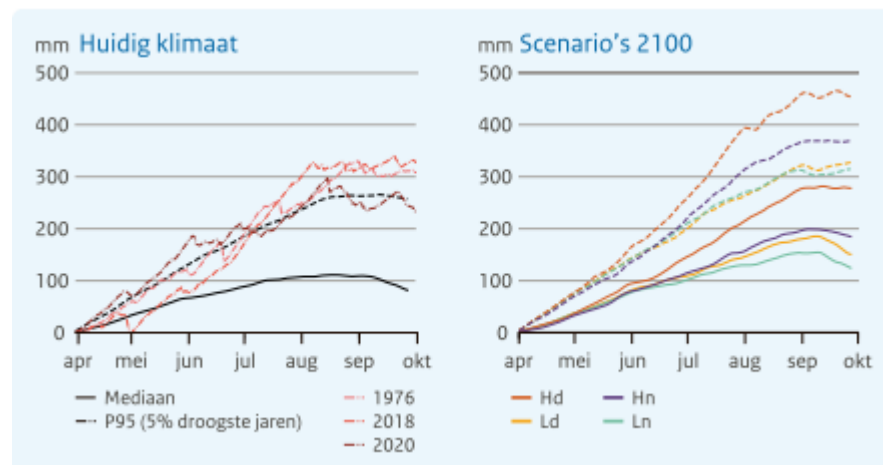
Figuur 2-3 - Schematische weergave huidig ecosysteem

2.3 Klimaatverandering

In 2023 heeft het KNMI vier nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd voor klimaatverandering in Nederland rond 2050 en 2100 (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023). Deze klimaatscenario's zijn gebaseerd op de laatste inzichten en ontwikkelingen en vervangen de klimaatscenario's uit 2014. In deze klimaatscenario's wordt uitgegaan van een scenario met hoge uitstoot van broeikasgassen, waarin de opwarming rond 2100 is toegenomen tot 4,9°C, en een scenario met lagere uitstoot van broeikasgassen, waarin de mondiale opwarming beperkt blijft tot 1,7°C rond 2100. De doorwerking van deze opwarming zorgt voor droge zomers en nattere winters in Nederland, over de mate waarin wordt geen uitsluitsel gegeven in de vigerende modellen. Daarom houdt het KNMI rekening met een nat scenario (Ln en Hn) waarin de winters sterk vernatten en de zomers licht verdrogen, en een droog scenario (Ld en Hd) waarin de winters licht vernatten en de zomers sterk verdrogen. De gevolgen van deze scenario's zijn als uitgangspunten gebruikt voor het ontwikkelen van de adaptatiepaden voor Schiermonnikoog. Hieronder zijn deze gevolgen op hoofdlijnen uiteengezet naar de vier hoofdeffecten van de mondiale opwarming.

2.3.1 Droogte

Droogte ontstaat als er meer water verdampt dan dat wordt aangevuld als neerslag, dit is een belangrijke stressfactor veroorzaakt door klimaatverandering. In alle vier de scenario's die het KNMI schetst in haar rapport neemt het neerslagtekort toe in de zomermaanden; in de zomermaanden zal minder neerslag vallen en neemt de verdamping toe door de stijgende gemiddelde temperatuur in deze maanden (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023). In het droogste scenario (Hd) is een toekomstige gemiddelde zomer zelfs ongeveer even droog als de extreemste zomers nu. Deze droogte wordt veroorzaakt door een toename van oostenwinden in de zomer, die drogere lucht aanvoeren. Deze effecten zullen naar verwachting sterker zijn in het zuiden van het land, maar ook zeker op een relatief geïsoleerd systeem als Schiermonnikoog zal dit grote gevolgen kunnen hebben (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023). In figuur 2-4 staan de neerslagtekorten weergegeven die de verschillende scenario's van het KNMI voorspellen. Hierin wordt duidelijk dat de extremen van nu de nieuwe normaal zullen zijn in 2100.



Figuur 2-4 - Doorlopend cumulatief neerslagtekort in De Bilt in het huidige klimaat (1991 - 2020)(links) en rond 2100 voor de vier klimaatscenario's (rechts). Stippellijnen tonen de 5% droogste jaren. (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023)

2.3.2 Hitte

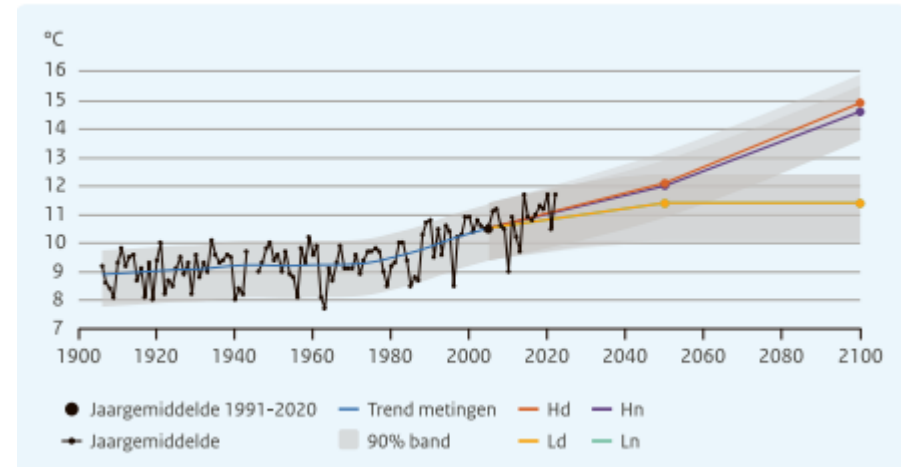
In alle klimaatscenario's van het KNMI stijgt de temperatuur, bij een hoge uitstoot van broeikasgassen is deze toename veel signifikanter dan in de scenario's met lage uitstoot. De gemiddelde mondiale temperatuurstijging zal in de zomer het grootste zijn ten zuiden van Nederland en in de winter het grootste zijn ten noorden van Nederland. Door deze uitdamping van de koudste dagen in Noord-Europa en vergroting van de warmste pieken in Zuid-Europa zal de opwarming in Nederland zorgen voor minder ijsdagen en meer tropische nachten (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023). In figuur 2-5 zijn de jaargemiddelde temperatuur weergegeven in de verschillende scenario's, hierin is een duidelijk verschil te zien tussen de hoge (Hd, Hn) en lage (Ld, Ln) uitstootscenario's.

2.3.3 Neerslag

Neerslag ontstaat doordat de warme, lichte lucht opstijgt en afkoelt; koelere lucht kan minder vocht bevatten en regent daarom uit. Het opstijgen van lucht wordt kan veroorzaakt worden doordat een warme en een koude luchtstroom samenkomen, of doordat door de kracht van de zon de lucht nabij de grond opwarmt.

In alle vier de klimaatscenario's neemt in 2100 de neerslag in de winter toe (met 4-24%) en neemt de neerslag in de zomer af (met 2-29%). De jaarlijkse neerslaghoeveelheid in 2100 verandert in drie van de vier scenario's weinig (0-3%), de verschillen tussen de seizoenen worden echter uitvergroot. In het natte scenario met hoge emissies (Hn) neemt de jaarlijkse neerslag in 2100 toe met 8% ten opzichte van 1990-2020. Dit wordt gedomineerd door een toename in winterneerslag van 24% (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023).

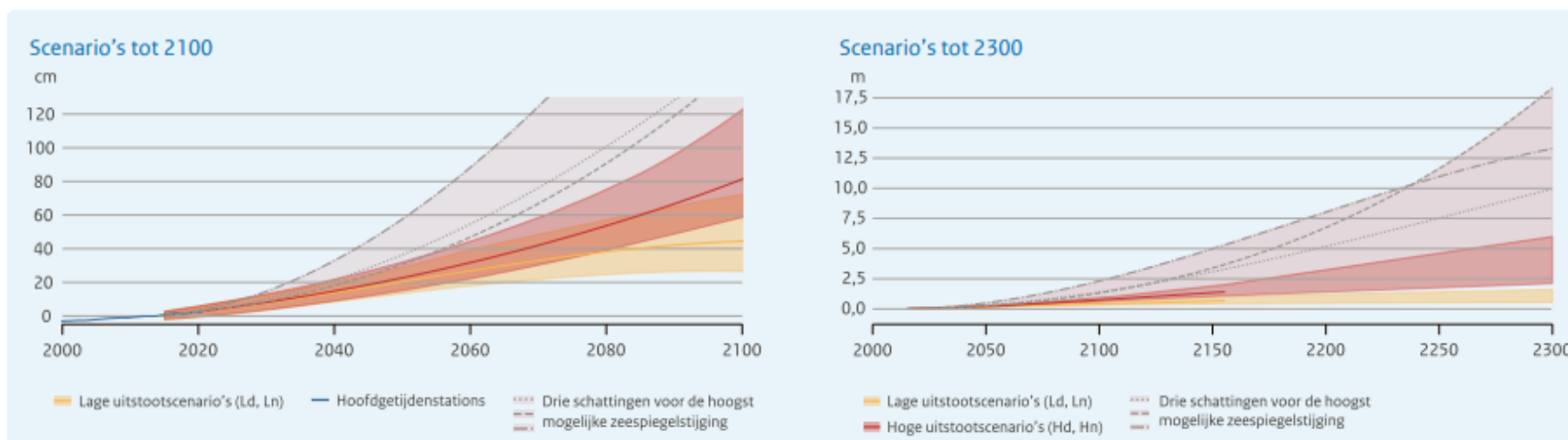
In de scenario's wordt geschetst dat de extremen groter worden, de condities om zware buien te vormen komen vaker voor en condities passend bij lichte zomerse buien worden zeldzamer. Hierdoor kunnen er in de toekomst zwaardere en intensere buien verwacht worden, er zal meer regen uit één bui vallen en tevens zal deze grotere hoeveelheid regen in een kortere tijd vallen. Doordat de neerslag vaker zo intensief is dat deze niet meer geleidelijk in de ondergrond opgenomen kan worden neemt hiermee ook de kans op wateroverlast toe.



Figuur 2-5 -Gemiddelde jaartemperatuur (landelijk gemiddelde) (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023)

2.3.4 Zeespiegelstijging

Rond 2100 voorspellen de klimaatscenario's een zeespiegelstijging tussen de 26 en 73 cm in de scenario's met een lage uitstoot (Ld, Ln) en tussen de 59 en 124 cm in de scenario's met een hoge uitstoot (Hd, Hn). De meest extreme zeespiegelstijging in 2100 kan zelfs 2,5 meter zijn, dan moeten onzekere processen zoals het instabiel worden van de Antarctische IJskap wel al voor 2100 optreden. De snelheid waarmee zeespiegelstijging een extreme aanneemt is erg afhankelijk van de stabiliteit van de Antarctische IJskap; deze ijskap heeft verreweg de grootste voorspelde bijdrage aan zeespiegelstijging. In de meest extreme inschatting kan de zeespiegelstijging zelfs oplopen tot 17 meter in 2300 (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023). De verschillende scenario's zijn uiteengezet in de tijd in figuur 2-6. Schiermonnikoog staat onder directe invloed van zeespiegelstijging. De waterveiligheidsopgave maar ook de beschikbaarheid van zoetwater wordt bepaald door de mate van zeespiegelstijging.



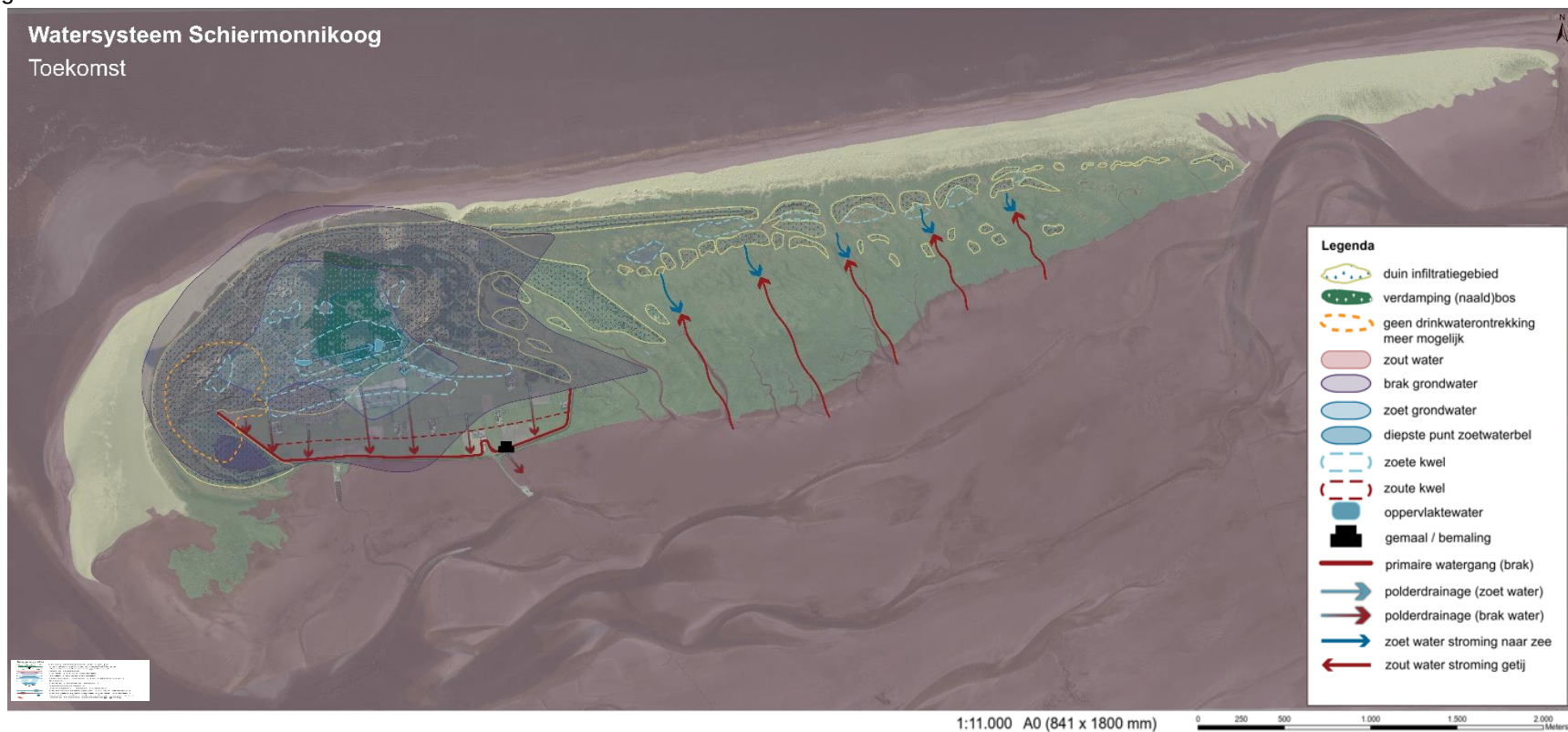
Figuur 2-6 - Inschatting zeespiegelstijging tot 2100 en 2300 (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023)

2.4 Toekomstbeelden Schiermonnikoog

Deze paragraaf beschrijft hoe de hoofdsystemen van het eiland functioneren in een situatie met klimaatverandering: het watersysteem, het morfologisch systeem en het ecosysteemwerking.

Watersysteem

In figuur 2-7 is het verwachte toekomstige watersysteem weergegeven. In deze figuur is te zien hoe het gehele systeem meer onder de invloed van het zoute water komt te staan. Er is een kleinere zoete kern te zien (zoetwaterbel) en zout water reikt verder het eiland op. De polder wordt brakker/zouter. Het water dat vanuit de kleinere duinen op de eilandstaart uitstroomt richting de kwelder neemt af en de impact van de getijden die de eilandstaart op stroomt wordt groter.



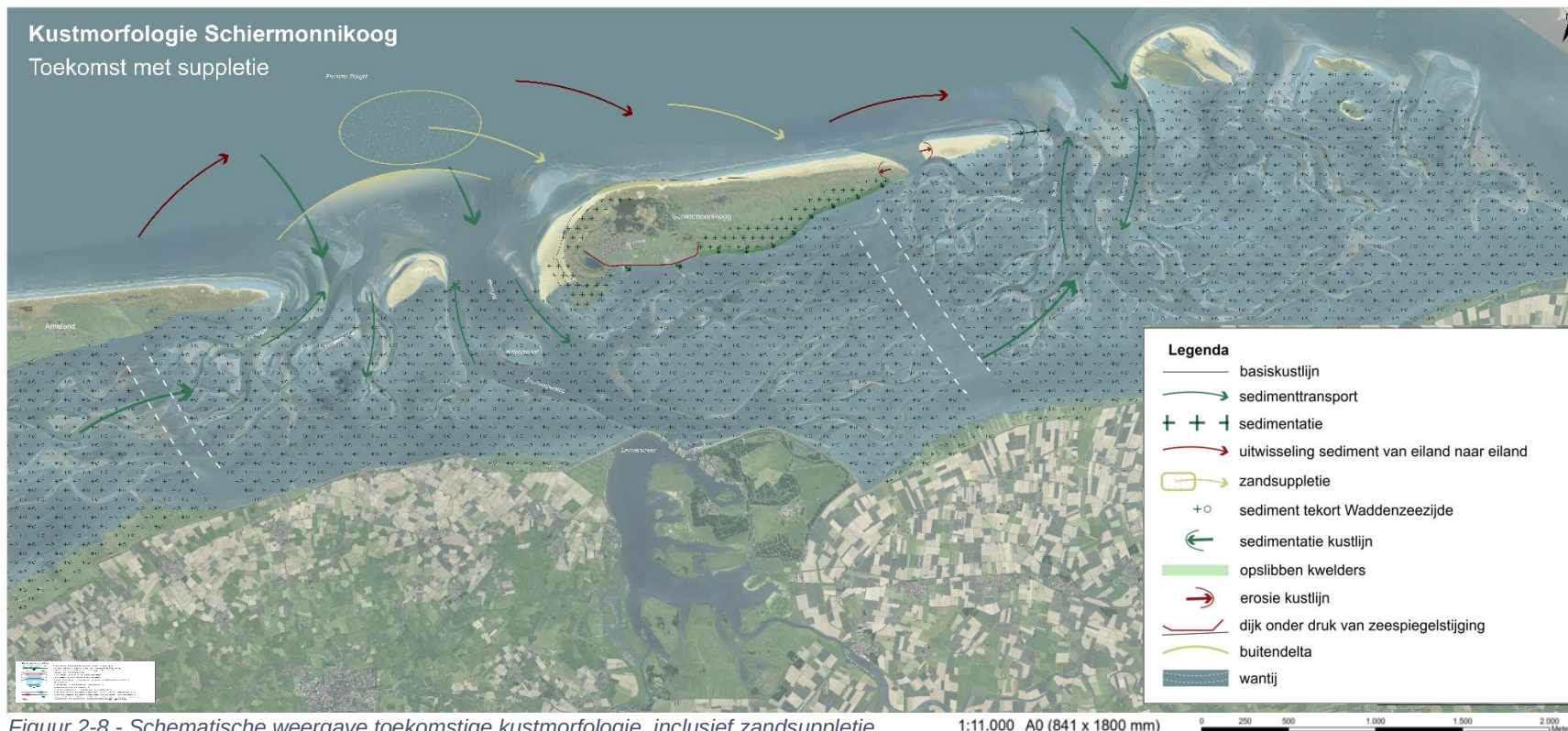
Figuur 2-7 - Schematische weergave toekomstig watersysteem

Kustmorphologie

In figuur 2-8 en 2-9 zijn de verwachte toekomstige kustmorphologische processen rondom Schiermonnikoog schematisch weergegeven. Figuur 2-8 laat zien hoe de situatie zich ontwikkelt als er vanuit gegaan wordt dat er gesuppleerd wordt tussen Ameland en Schiermonnikoog. Figuur 2-9 geeft het verwachte proces weer als er geen suppletie plaatsvindt.

Kustmorphologie met suppletie

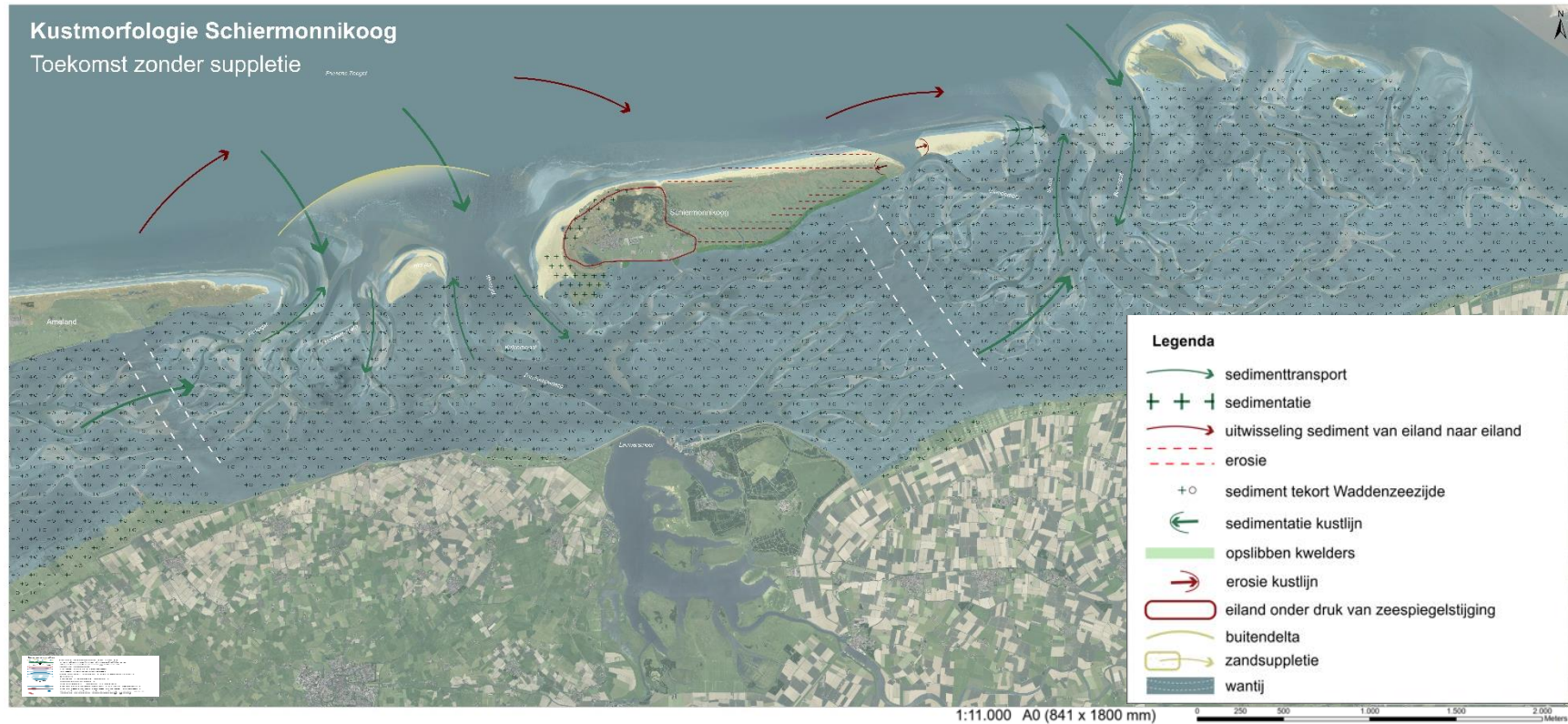
Door de effecten van zeespiegelstijging neemt het sediment transport richting de Waddenzee toe. Echter, de toename van sedimentaanvoer is niet voldoende om de zeespiegelstijging bij te houden. Door de natuurlijke richting van het netto sedimenttransport (erosie aan de westkant en sedimentatie aan de oostkant van het eiland) kan de eilandstaart los komen van het eiland. Zandsuppletie voorkomt de krimp van de Basiskustlijn in de toekomst. De natuurlijke verstuiving vanaf het strand richting de duinen zorgt ervoor dat de duinen ophogen maar de vorm van het eiland niet verandert.



Figuur 2-8 - Schematische weergave toekomstige kustmorphologie, inclusief zandsuppletie

Kustmorfologie zonder suppletie

Zeespiegelstijging gaat in de hoge uitstootscenario's naar verwachting harder dan de aanvoer van zand, hierdoor stijgen wadplaten onvoldoende mee en neemt de waterdiepte van de Waddenzee toe. Als gevolg van het ontbreken van zandsuppletie treedt erosie aan de eilandstaart op. Hierdoor kan zonder ingrepen de eilandstaart loskomen van de rest van het eiland. Zand verstuift vanaf het strand richting de duinen, hierdoor wordt het strand smaller en de duinen hoger. In de figuur is er vanuit gegaan dat er actief vastgehouden wordt aan de eilandkern (de rode lijn).



Figuur 2-9 - Schematische weergave toekomstige kustmorfologie, zonder zandsuppletie



Ecosysteemwerking

In figuur 2-10 is de verwachte toekomstige werking van de dynamiek en aanwezige gradiënten op het ecosysteem weergegeven. Zo is te zien dat vanaf het strand aan de Noordzezijde zand richting de kern van het eiland verstuift. Langere periodes van droogte en meer zoete kwel als gevolg van zeespiegelstijging zorgen in de duinen voor een veranderend landschap, de precieze gevolgen voor het landschap en ecologische waarden zijn daar niet voor in te schatten. Door zeespiegelstijging zullen sommige delen van Schiermonnikoog die nu zoet zijn omslaan naar zout, dit heeft gevolgen voor soorten op het eiland, wat het effect precies is is niet goed te duiden. De washovers op de eilandstaart worden als gevolg van zeespiegelstijging groter en frequenter, waardoor de eilandstaart sneller opslibt.

De natuur op en rondom Schiermonnikoog zal veranderen door de invloed van zeespiegelstijging, verzilting, veranderingen in neerslag en hogere temperaturen. Hoe de natuur precies verandert in de toekomst is niet vast te stellen aangezien de natuur op en rondom Schiermonnikoog complex is en er veel onzekerheden zijn over de effecten van klimaatverandering op de natuur. De verwachting is er veranderingen gaan plaatsvinden in de samenstelling van soorten en dat grenzen van bepaalde habitattypen gaan verschuiven als gevolg van klimaatverandering of zelfs verdwijnen

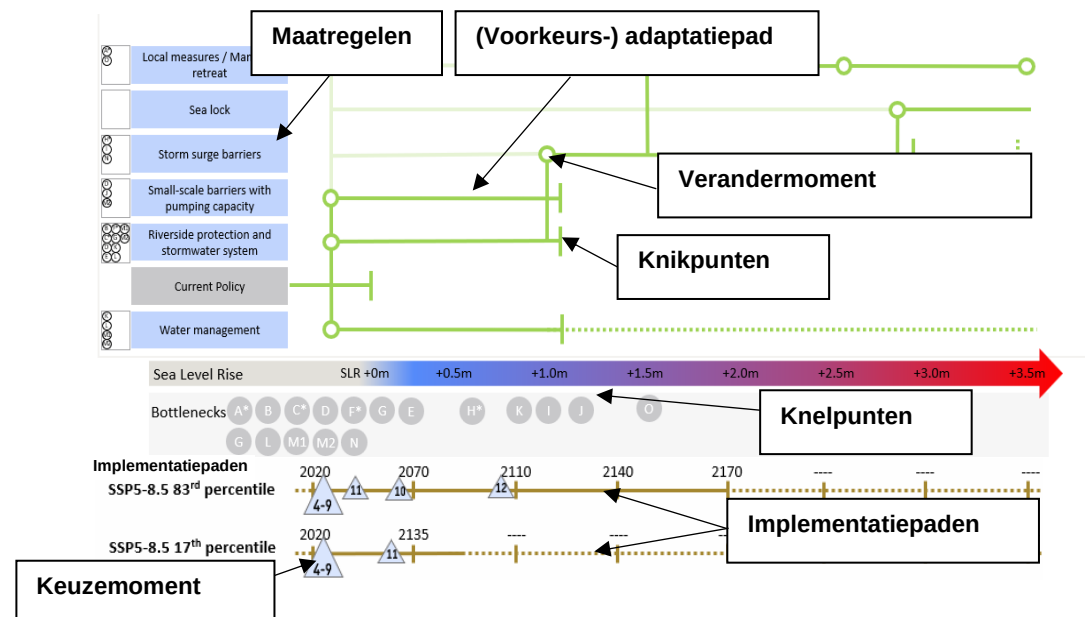


Figuur 2-10 - Schematische weergave toekomstig ecosysteem

3.1 Korte toelichting/introductie adaptatiepaden

In figuur 3-1 is een voorbeeld gegeven van een adaptatiepadenkaart. De volgende definities zijn van belang om een adaptatiepadenkaart te kunnen lezen.

- **Adaptatiepadenkaart:** Een adaptatiepadenkaart is een overzichtskaart waarin alle maatregelen of ingrepen die genomen kunnen worden om een lange termijn doel te behalen in beeld zijn gebracht. Hierbij is rekening gehouden met huidige en toekomstige onzekerheden zoals klimaatverandering. Adaptatiepaden zijn ontworpen om in te kunnen spelen op onzekerheden.
- **(Voorkeurs-) adaptatiepad:** Dit is een reeks maatregelen die samen een strategie vormen, gericht op het bereiken van lange termijn doelen op basis van huidige kennis en aannames over de toekomst. Het kan wenselijk zijn om een van de adaptatiepaden te selecteren en daarmee een strategie naar de toekomst te kiezen, een zogenoemde optimale route. Ook kunnen verschillende adaptatiepaden samen in beeld brengen welke maatregelen met geen- of weinig spijt nu en in de toekomst genomen kunnen worden. Dit ondersteunt besluitvorming op de korte termijn, waar mogelijk zonder toekomstige situaties uit te sluiten.



Figuur 3-1 - Voorbeeld van een adaptatiepadenkaart

- **Knelpunten:** Dit zijn grenzen aan het systeem of beleid met een oorsprong in veranderende omstandigheden. De complete lijst met knelpunten waar mogelijk specificatie en uitgangspunten voor deze knelpunten die in deze studie gebruikt, zijn te vinden in bijlage C.
- **Maatregelen:** Dit zijn specifieke ingrepen die uitgevoerd kunnen worden om het systeem aan te passen aan veranderende condities. Dit kan variëren van korte termijn maatregelen met weinig spijt die verstandig zijn tijdens de meeste scenario's, tot lange termijn maatregelen die af kunnen hangen van welk klimaatscenario werkelijkheid wordt. Specifieke bouwstenen die voor Schiermonnikoog geïdentificeerd zijn en waar mogelijk met specificatie en uitgangspunten, zijn te vinden in bijlage B.
- **Knikpunten:** Een punt in het systeem waar de effectiviteit van een maatregel afneemt of verdwijnt door de veranderende condities. Het identificeren van knikpunten is cruciaal omdat ze bepalen wanneer het noodzakelijk is om een aanvullende maatregel te implementeren.
- **Verandermoment:** Dit betreft een moment waarop een keuze gemaakt moet zijn om een specifieke maatregel of een set aan maatregelen te implementeren. Verandermomenten zijn verbonden aan een knik- of knelpunten. Dit is een essentieel onderdeel van klimaatadaptatiepaden, aangezien het bepalend is voor hoe en wanneer in het licht van voorspelde veranderingen overgestapt kan worden naar andere maatregelen.
- **Implementatiepaden:** Implementatiepaden geven weer wanneer in de tijd de beslissing om maatregelen te realiseren genomen moet zijn. Hierbij is rekening gehouden met doorlooptijden van maatregelen (transformatie, implementatie en realisatietijd) en verschillende klimaatscenario's. In geval van Schiermonnikoog zijn knelpunten en maatregelen zo veel mogelijk gekwantificeerd en gekoppeld aan absolute zeespiegelstijging. Ook knelpunten op basis van droogte en wateroverlast zijn gekoppeld aan de as van zeespiegelstijging op basis van het algemene beeld van het veranderende klimaat. In deze pilot is gebruik gemaakt van de klimaatscenario's van het KNMI (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023). De klimaatscenario's zijn gebruikt om inschattingen te kunnen maken wanneer knelpunten optreden en wanneer maatregelen genomen moeten worden om effectief te zijn.
- **Doorlooptijden:** Tijd die nodig is om maatregelen volledig gerealiseerd te krijgen. Deze tijd is opgebouwd uit transformatietijd (tijd die nodig is om een maatregel te kunnen implementeren, bijvoorbeeld draagvlak onder bewoners), implementatietijd (vergunningen en procedures) en realisatietijd.

Andere elementen en termen die van belang zijn maar niet in figuur 3-1 staan:

- **Geen- en weinig-spijt maatregelen:** Dit zijn maatregelen die in de meeste strategieën naar voren komen als passende maatregelen in de implementatiepaden. Hierdoor is het risico op spijt in de toekomst, bijvoorbeeld over- en onder investeringen, beperkt. Geen spijt is gedefinieerd als maatregelen die in elke strategie logisch zijn, weinig spijt die in twee van de drie strategieën logisch zijn. Veranderingen in het water- en bodemsysteem, klimaatverandering of beleidswijzigingen kunnen leiden tot verandering van de geprefereerde maatregelen.
- **Lock-in:** Een lock-in refereert naar een situatie waar een specifieke keuze toekomstige opties uitsluit. Mogelijkheden tot aanpassing aan de toekomst zijn beperkt. Dit kan zich voordoen als beslissingen niet op het juiste moment genomen worden; of wanneer een actie of maatregel impact heeft op de lange termijn die moeilijk of duur zijn om terug te draaien, waardoor vrijwel vastgehouden moet worden aan een gekozen strategie. Lock-ins kunnen worden veroorzaakt door bijvoorbeeld grootschalige investeringen in infrastructuur, lange implementatietijden van maatregelen, besluiteloosheid, wettelijke overeenkomsten of technische keuzes die bepaalde middelen vereisen en een bepaalde reeks acties voor een langere periode in gang zet.

3.2 Adaptieve strategieën voor Schiermonnikoog

Er zijn in totaal drie adaptieve strategieën opgesteld waarmee omgegaan kan worden met de gevolgen van klimaatverandering op Schiermonnikoog. Deze drie adaptieve strategieën zijn afgeleid op basis van een analyse van de knelpunten en de potentiële maatregelen. In deze analyse zijn alle geïdentificeerde knelpunten geordend op basis van voorkomen in de tijd en gerelateerd aan klimaatverandering, en expliciet zeespiegelstijging. Aan alle knelpunten zijn mogelijke maatregelen gekoppeld. Aan de hand van knelpunten en maatregelen zijn drie logische en onderscheidende adaptatiestrategieën uitgewerkt. De drie verschillende strategieën geven gezamenlijk een range weer van de mogelijke oplossingsruimte; van een eiland dat zo veel mogelijk lijkt op het eiland zoals we het nu kennen tot een eiland waar het natuurlijke water en bodem systeem sturend is. In alle gevallen is het uitgangspunt dat Schiermonnikoog een leefbaar eiland blijft.

De drie strategieën hebben de volgende titels:

- Vasthouden aan het eiland: het behouden van de huidige functies op de huidige locaties op het eiland
- Aanpassen van het eiland: de huidige functies blijven behouden, maar kunnen op een andere locatie op het eiland zijn.
- Water en wad sturen het eiland: het eiland is ingericht zoals dat ideaal zou zijn vanuit water en bodem sturend, de natuurlijke processen domineren hier.

Gekwantificeerd

- A: De intergetijde gebieden kwelders en wadplaten verdrinken (+0,3 – +0,55 m)
- B: Veerdam staat te vaak onder water, bereikbaarheid komt in het geding (+0,5 m)
- C: Drinkwateronttrekking niet meer mogelijk (+0,5 – +1 m ≈ 2100)
- D: Wateroverlast in de polder te groot voor landbouw (+0,5 – +1 m)
- I: Verzilting van de polder maakt huidige vorm van landbouw onhoudbaar (+1,5 m)
- N: Reguliere versterking dijk niet meer houdbaar (+3 m)

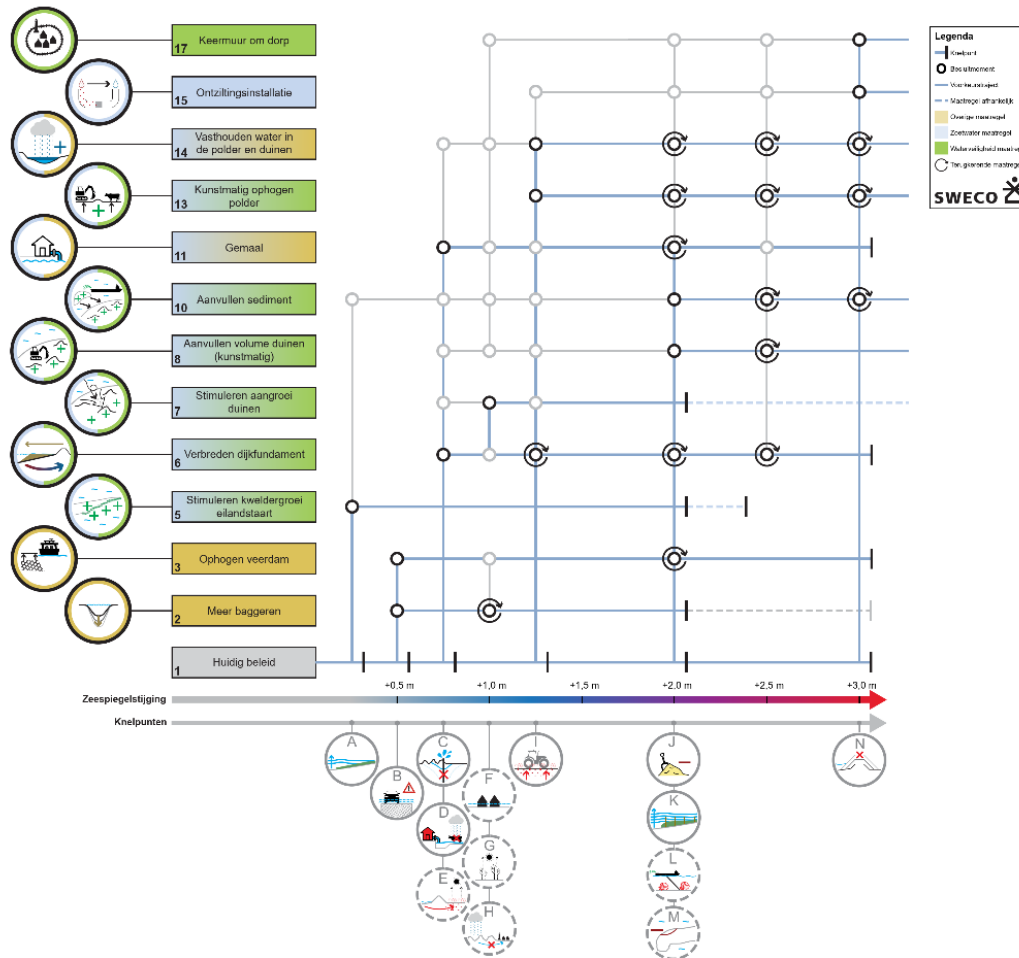
Nog niet gekwantificeerd

- E: Droge perioden maken landbouw onhoudbaar (+1,0 m)
- F: Wateroverlast in het dorp (+1,0 m)
- G: Droge zomers leiden tot significant verlies van natuurwaarden (+1,0 m)
- H: Trage zoetwater aanvoer vanuit duinen naar polder valt weg (+1,0 m)
- J: Sediment tekort
- K: Zeespiegelstijging te snel voor stimuleren kweldergroei
- L: Negatieve effecten op natuurwaarden buiten proportie
- M: Basis kustlijn erodeert

Figuur 3-2 - Knelpunten

In de volgende paragraaf zijn de drie strategieën in detail beschreven. De knelpunten die bij de strategieën horen staan in figuur 3-2 opgesomd.

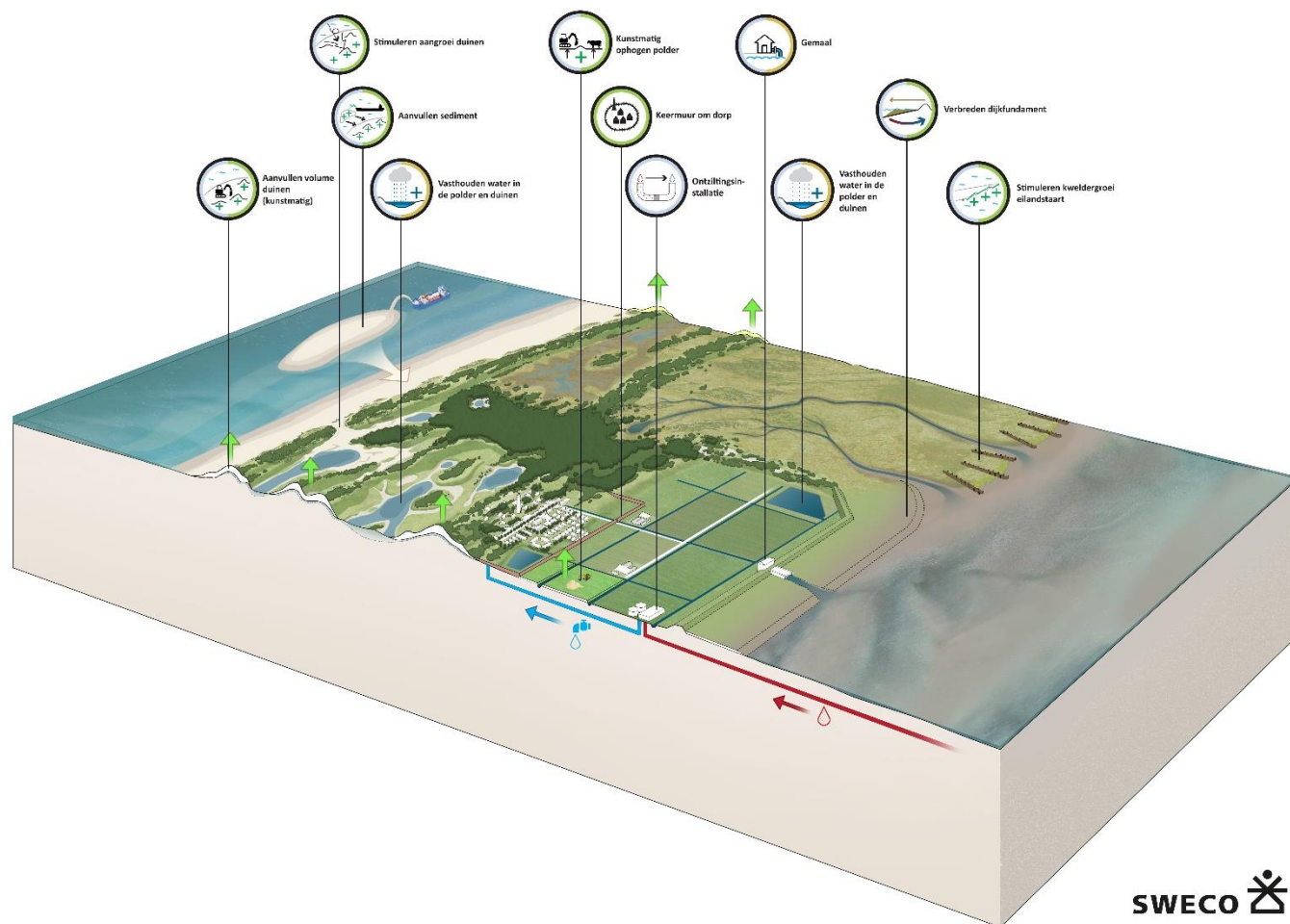
Strategie | Vasthouden aan het eiland



3.2.1 Vasthouden aan het eiland

De strategie “Vasthouden aan het eiland” richt zich op het zo veel mogelijk op dezelfde locaties behouden van de huidige functies op het eiland. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan vasthouden van de huidige functies in de polder en behoud van de vorm en de waarde die de eilandstaart in het systeem heeft. Dit betreft dus een minimale verandering voor de bewoners van het eiland. Zo worden er maatregelen getroffen om de duinen verder aan te laten groeien en wordt de dijk versterkt waarbij een breed dijkfundament (bijv. in de vorm van kwelder of vooroever) voor de dijk aangelegd wordt om zoute kwel te beperken en de polder langer zoet te houden bij zeespiegelstijging. Zo kan de huidige vorm van landbouw zo lang mogelijk blijven bestaan. Een gemaal wordt ingezet om water in geval van grote neerslaghoeveelheden af te kunnen voeren. De polder wordt kunstmatig opgehoogd om meer zoetwater vast te kunnen houden in de polder en deze langer zoet te houden. Als gevolg van zeespiegelstijging zal de zoetwaterbel onder de duinen gestaagd afnemen. Door het kunstmatig ophogen van de polder en het verlengen van de kwelweg wordt gestimuleerd dat de zoetwaterbel langer behouden blijft. Echter, bij grotere zeespiegelstijging is het niet meer mogelijk om de zoetwaterbel te behouden in deze strategie (Essink, 2024). Voor drinkwatervoorziening wordt, conform huidige visie van Vitens, ingezet op een ontziltingsinstallatie voor drinkwater (Vitens, 2021). Het adaptatiepad van deze strategie is te zien in figuur 3-3, in bijlage D staat de adaptatiepadenkaart met deze strategie weergegeven.

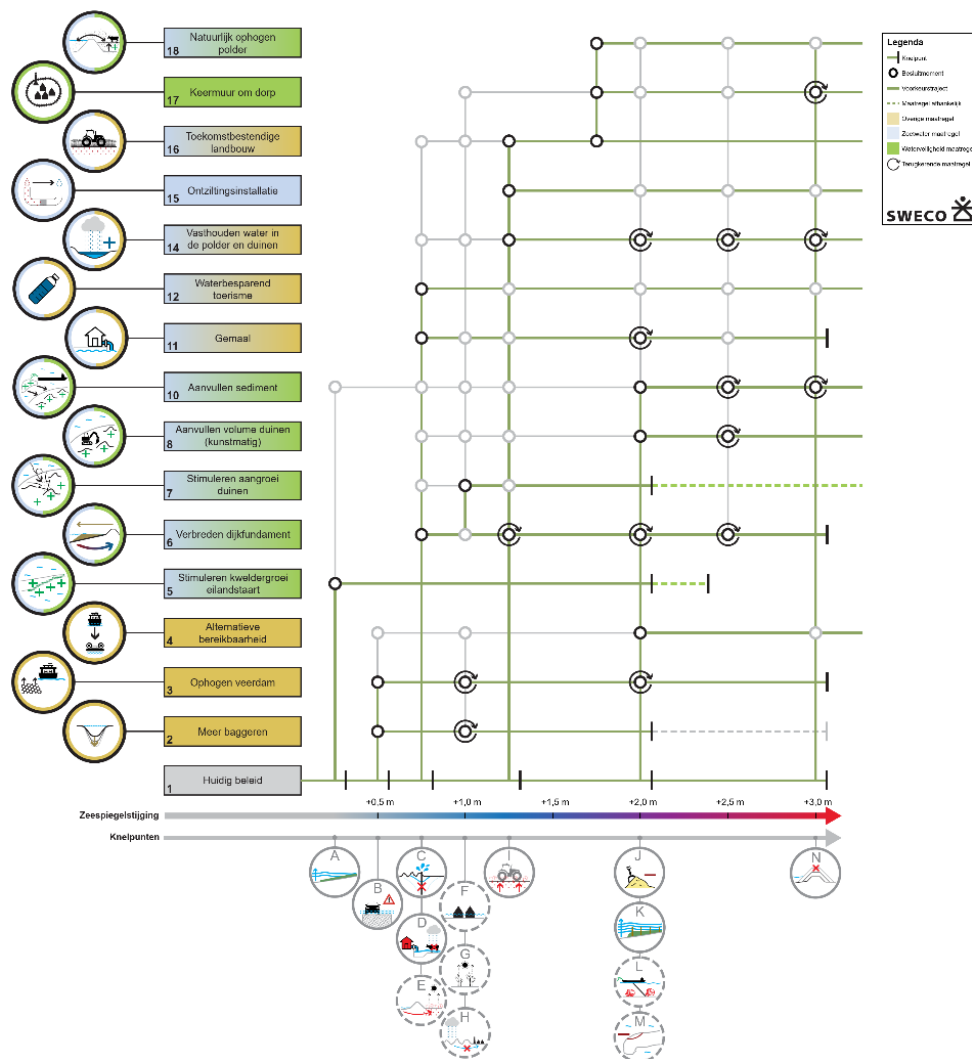
Figuur 3-3 - Adaptatiepadenkaart Vasthouden aan het eiland



In figuur 3-4 is het toekomstbeeld voor “Vasthouden aan het eiland” weergegeven. Hier is te zien hoe de maatregelen uit deze strategie het eiland kunnen vormen. Zo is te zien dat de zoetwaterbel bijna geheel verdwenen is en dat een ontziltingsinstallatie het eiland van zoetwater voorziet. Duinen zijn opgehoogd, de kwelder is aangegroeid, er is een breder dijkfundament met gemaal te zien. Door middel van suppletie wordt er voor gezorgd dat waterveiligheid geborgen wordt.

Figuur 3-4 – Toekomstbeeld Vasthouden aan het eiland

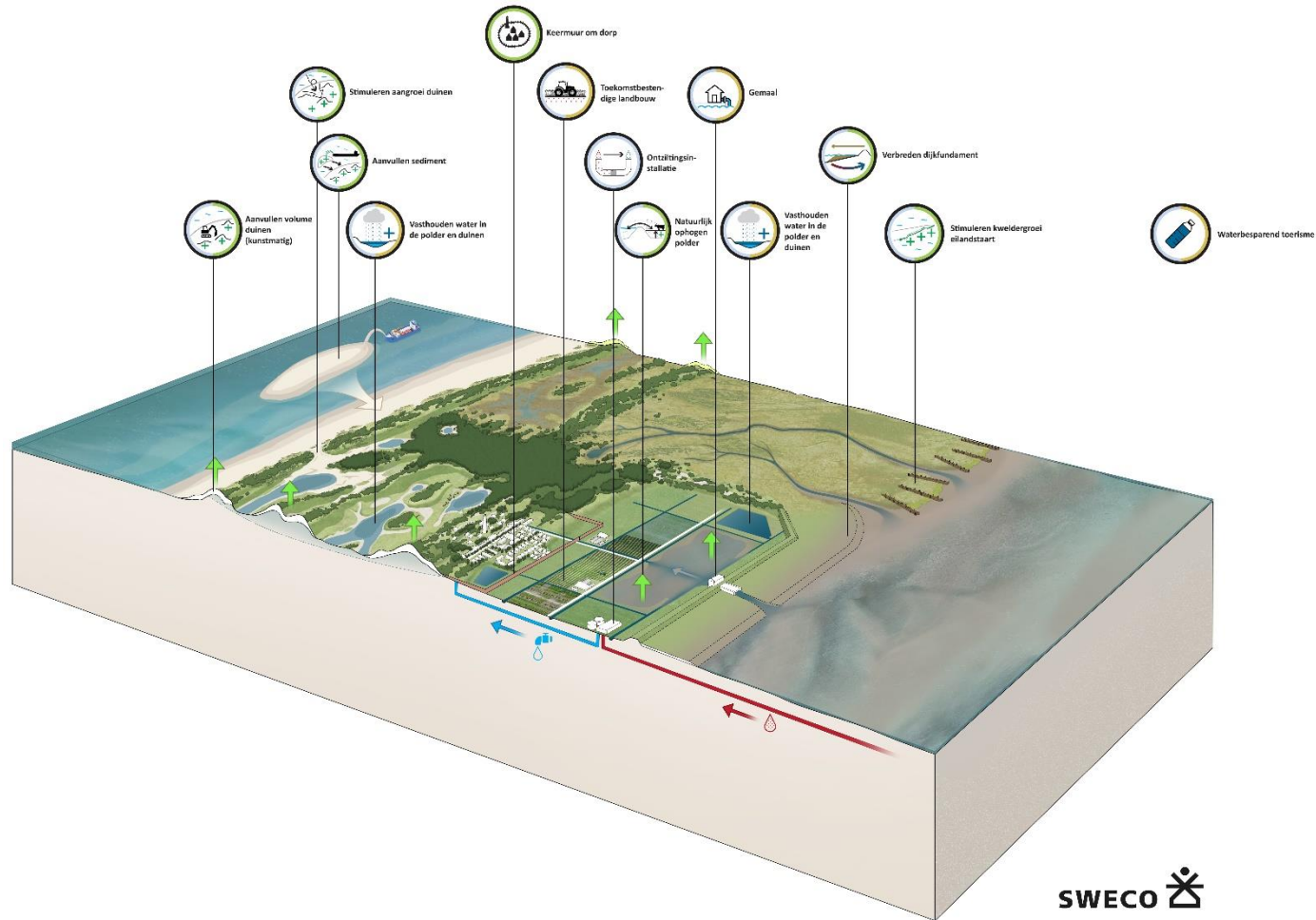
Strategie | Aanpassen van het eiland



Figuur 3-4 - Adaptatiepadenkaart Aanpassen van het eiland

3.2.2 Aanpassen van het eiland

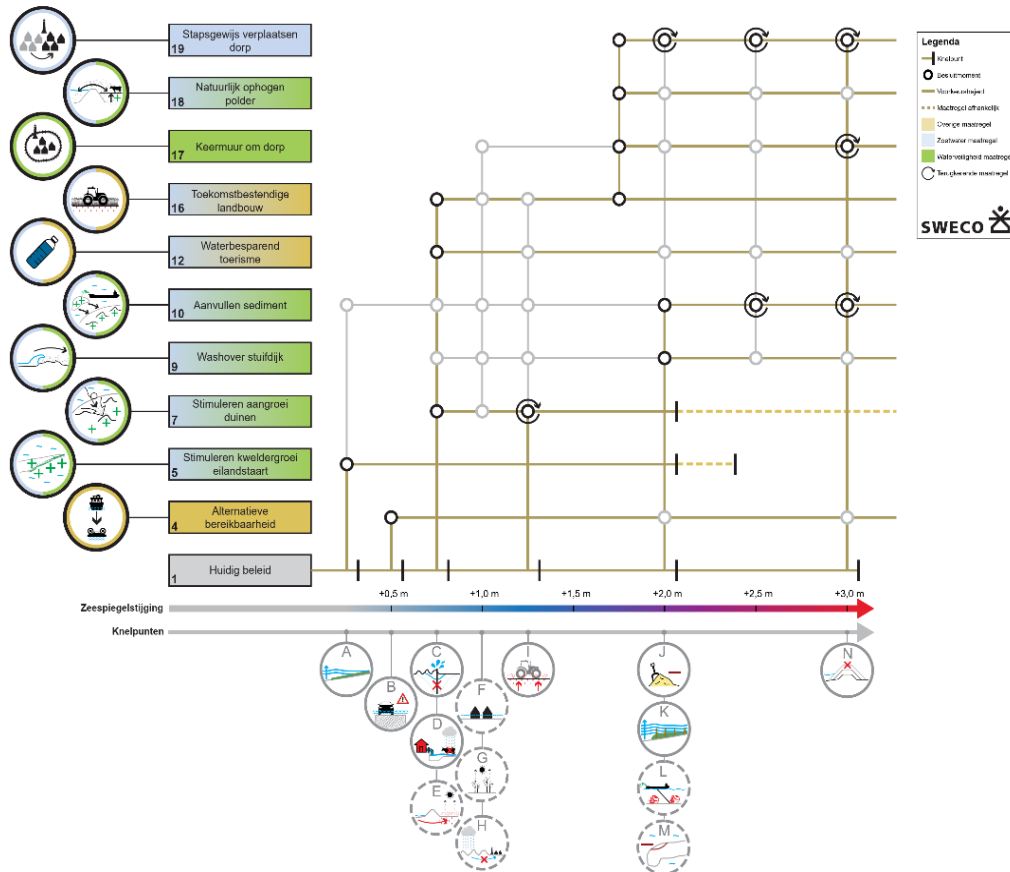
De strategie “Aanpassen van het eiland” richt zich op het behouden van de huidige vorm van het eiland. De huidige functies kunnen verplaatst worden naar de meest wenselijke locatie, gezien vanuit het water- en bodemsysteem, en natuurlijke processen worden gestimuleerd. Zo wordt in deze strategie ingezet op de natuurlijke aangroei van de eilandstaart, maar ook op het verbreden van het dijkfundament om zoute kwel terug te dringen. Tevens wordt eerst de natuurlijke aangroei van de duinen gestimuleerd, op het moment dat de zeespiegelstijging de snelheid van aangroei inhaalt, worden de duinen kunstmatig verder opgehoogd. Een gemaal wordt ingezet om water in geval van grote neerslaghoeveelheden af te kunnen voeren. Ondanks het verlengen van de kwelweg met het verbreden van het dijkfundament, zal het poldersysteem naar verwachting verzilten als gevolg van het krimpen van de zoetwaterbel. Er wordt geleidelijk toegewerkt naar een vorm van toekomstbestendige landbouw. Hierbij wordt landbouw bedreven op een manier die bestand is tegen de toekomstige zilte condities in de polder. Voor drinkwatervoorziening wordt, conform huidige visie van Vitens, ingezet op een ontziltingsinstallatie voor drinkwater (Vitens, 2021). Het adaptatiepad van deze strategie is te zien in figuur 3-5, in bijlage D staat de adaptatiepadenkaart met deze strategie.



In figuur 3-6 is het toekomstbeeld voor de strategie Aanpassen van het eiland weergegeven. Hier is te zien hoe de maatregelen in deze strategie het eiland vormen. De polder wordt natuurlijk opgehoogd door bij hoogwater water en sediment binnen te laten. De duinen zijn duinen opgehoogd, de kwelder aangegroeid en is een breder dijkfundament met gemaal te zien. De zoetwaterbel wordt significant kleiner maar naar verwachting minder of later dan in strategie “Vasthouden aan het eiland”. Een ontziltingsinstallatie zal het eiland uiteindelijk van zoetwater voorzien.

Figuur 3-5 - Toekomstbeeld Aanpassen van het eiland

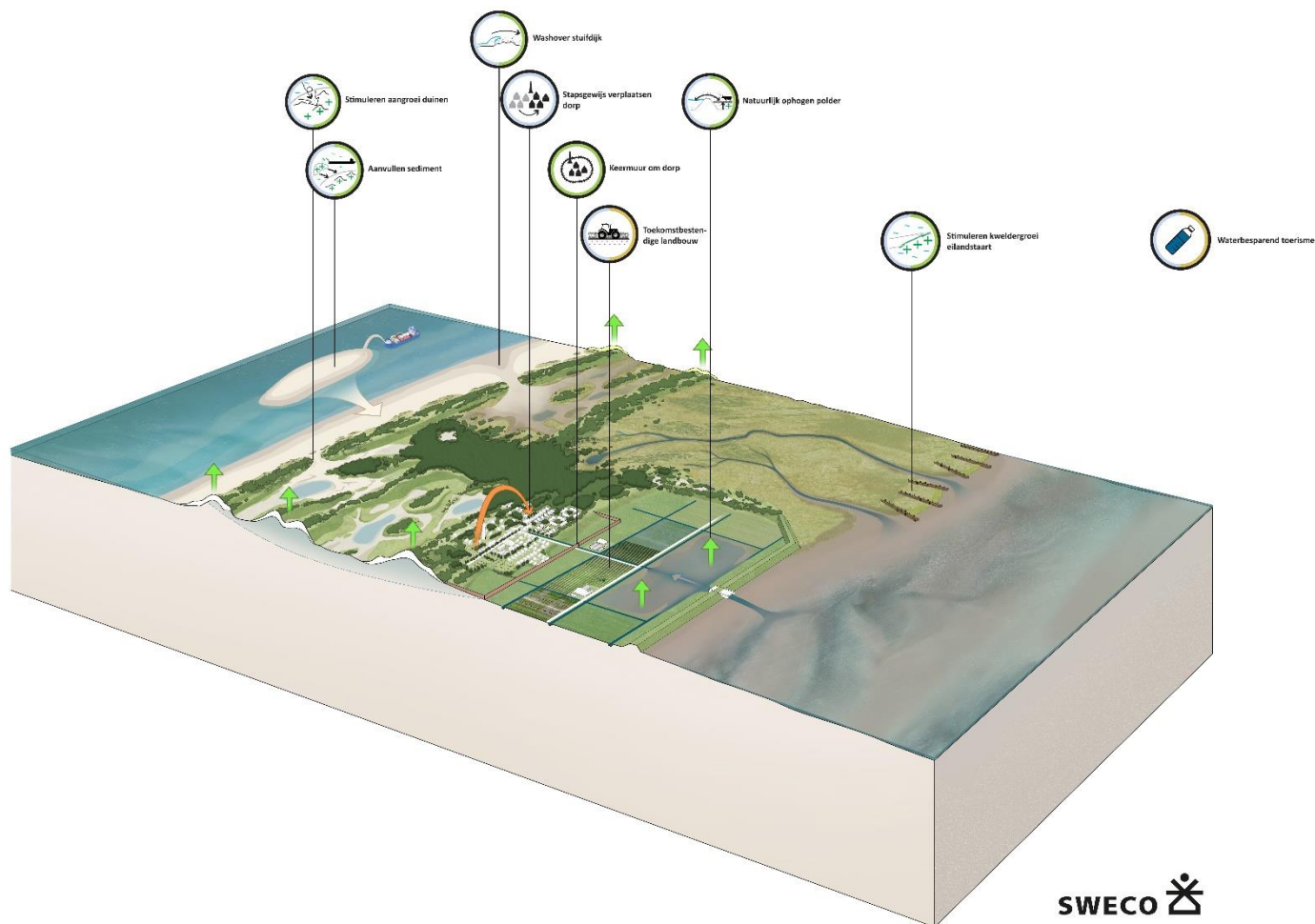
Strategie | Water en wad sturen het eiland



Figuur 3-6 - Adaptatiepadenkaart Water en wad sturen het eiland

3.2.3 Water en wad sturen het eiland

De strategie “Water en wad sturen het eiland” is opgesteld vanuit de Water en Bodem Sturend gedachte. Hier is gedacht aan een mogelijke inrichting van het systeem als aan de natuurlijke systemen op het eiland zo veel mogelijk de vrije loop wordt gelaten. De bewoners van het eiland volgen de kaders die de natuur schetst op het eiland. Er wordt dus niet vast gehouden aan de vorm van het eiland en de functies kunnen anders en op een andere locatie ingevuld worden, zolang het eiland maar leefbaar blijft. Washovers op de eilandstaart worden gestimuleerd en weer als een positief fenomeen gezien. Om de beschikbaarheid van sediment voor de natuurlijke processen te garanderen zal er gesuppleerd worden. Dit wordt gedaan om te voorkomen dat het eiland verdrinkt. Om de zoetwaterbel ook bij zeespiegelstijging zo lang mogelijk te behouden wordt ingezet op het natuurlijk ophogen van de polder. Hiervoor worden wisselpolders ingesteld of wordt de polder verder opengesteld aan getijden. Het is van belang dat de zeespiegel op het juiste niveau is en dat er voldoende sediment beschikbaar is, om aangroei van de polder op deze manier mogelijk te kunnen maken. Het eiland zal naar verwachting richting het oosten migreren. Om dit te faciliteren zal het dorp stapsgewijs verplaatsen. Dit is, afhankelijk van de snelheid van zeespiegelstijging, een proces van generaties, waarbij woningbouw bij het dorp niet meer aan de westkant gaat plaatsvinden en investeringen vooral aan de oostkant gebeuren. Dit is een proces dat in het verleden ook al heeft plaatsgevonden. Het adaptatiepad van deze strategie is te zien in figuur 3-7, in bijlage D staat de adaptatiepadenkaart met deze strategie..



In figuur 3-8 is een verbeelding van Schiermonnikoog in te zien bij het de strategie 'Water en wad sturen het eiland'. Hier is te zien hoe de maatregelen uit deze strategie het eiland vormen in de toekomstige scenario. Zo is onder andere te zien dat de zoetwaterbel groter blijft dan in andere strategieën. De duinen worden steeds verder opgehoogd, de kwelder groeit aan en wordt de polder door natuurlijke sedimentatie processen stapsgewijs steeds verder opgehoogd.

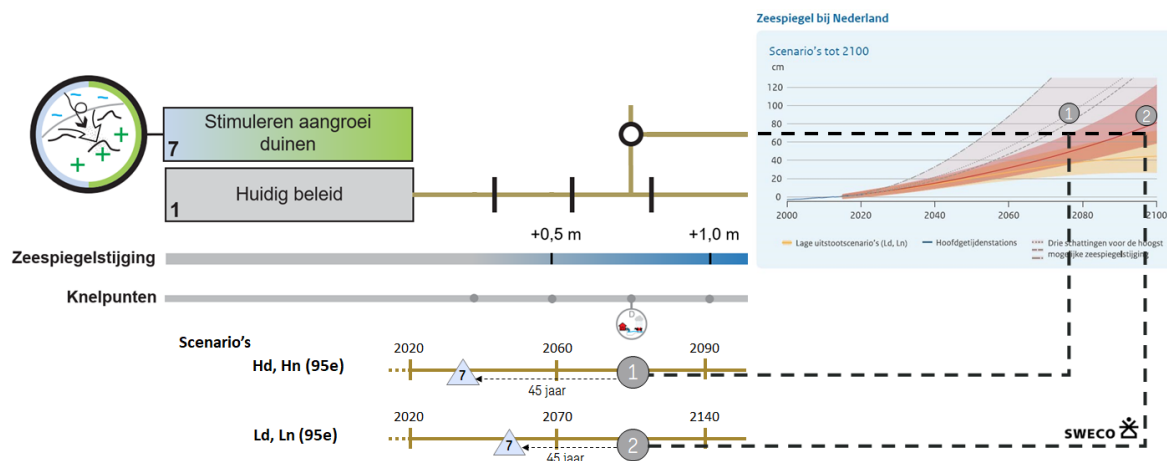
Figuur 3-7 – Toekomstbeeld Water en wad sturen het eiland

4 Analyse adaptieve strategieën

In dit hoofdstuk worden de adaptieve strategieën, zoals deze gepresenteerd zijn in hoofdstuk 3, geanalyseerd aan de hand van de implementatiepaden. Doorlooptijden zijn aan maatregelen verbonden en maatregelen zijn in de tijd geplaatst voor verschillende klimaatscenario's. In paragraaf 4.1 wordt uitgelegd hoe implementatiepaden zijn opgebouwd. In paragraaf 4.3 staat een versimpelde weergave van de verschillende strategieën.

4.1 Toelichting implementatiepaden

In hoofdstuk 3.2 zijn de knelpunten en maatregelen van de verschillende strategieën gekoppeld, voorzover bekend en kwantificeerbaar, aan een absolute waarde van zeespiegelstijging. Het KNMI heeft verschillende scenario's van zeespiegelstijging uitgewerkt, zie paragraaf 2.3.4. Afhankelijk van welk scenario gehanteerd wordt, treden knelpunten eerder of later in de tijd op. Hoe scenario's voor zeespiegelstijging gekoppeld zijn aan de tijd, is gevisualiseerd aan de hand van de maatregel 'Stimuleren aangroei duinen' in Figuur 4-1. Hier is te zien dat knelpunt D 'wateroverlast in de polder te groot voor landbouw' optreedt bij ca. 0,75 meter zeespiegelstijging. In het hoogste klimaatscenario (Hd/Hn, 95^e percentiel) treedt dit knelpunt op in 2075, in het laagste klimaatscenario (Ld/Ln, 95^e percentiel) treedt dit knelpunt pas op in 2095. Om de maatregel tijdig te realiseren zijn voor alle maatregelen doorlooptijden bepaald. Doorlooptijden zijn opgebouwd uit: transformatietijd, implementatietijd en realisatietijd (zie voor een overzicht van de bepaalde doorlooptijden bijlage E). Afhankelijk van veranderingen zoals bijvoorbeeld beleid, politiek landschap of klimaatverandering kan de doorlooptijd veranderen. De doorlooptijden zijn bepaald op basis van de huidige kennis.



In Figuur 4-1 is de maatregel 'Stimuleren aangroei duinen' als voorbeeld gebruikt. De doorlooptijd voor deze maatregel is bepaald op 45 jaar. Dat betekent dat 45 jaar voordat de maatregel moet functioneren (optreden knelpunt) met de maatregel moet worden gestart. Voor het hoogste klimaatscenario (Hd/Hn) en 95^e percentiel komt dit er op neer dat in 2030 gestart moet worden. Voor het laagste klimaatscenario (Ld/Ln) en 95^e percentiel betekent dit dat in 2050 gestart moet worden. Door dit voor alle maatregelen in een strategie te doen worden implementatiepaden verkregen. Deze paden laten zien wanneer besluiten voor maatregelen in relatie tot de doorlooptijden (bijlage E) genomen moeten

Figuur 4-1 Proces om de koppeling tussen knelpunten, maatregelen, zeespiegelstijging scenario's en doorlooptijd te leggen.

worden of in gevallen transformatie ingezet kan worden. Dit laatste kan, afhankelijk van de maatregelen mogelijk voor meerdere maatregelen tegelijk waardoor niet direct andere strategieën worden uitgesloten. Ook laten de implementatiepaden de urgentie zien en bieden inzicht in de haalbaarheid van een strategie. Als een besluit voor een maatregel op een implementatiepad in het verleden ligt kan deze maatregel niet meer gerealiseerd worden voor het gekoppelde knippunt optreedt, en is deze strategie dus moeilijk of niet haalbaar. In Paragraaf 4.2 zijn de implementatiepaden van de drie strategieën weergegeven.

4.2 Implementatiepaden

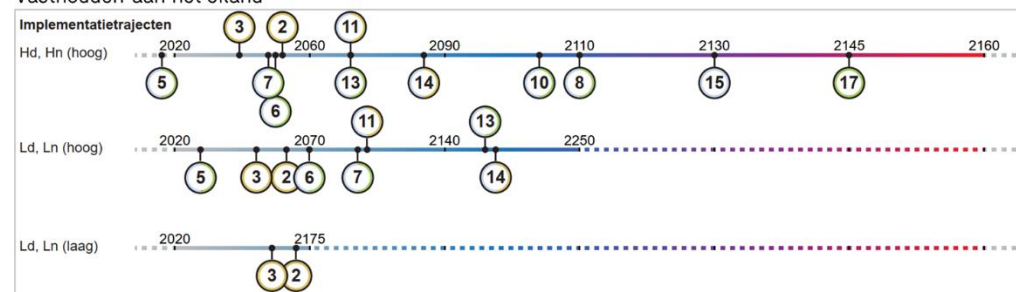
Bij de implementatiepaden is rekening gehouden met een drietal zeespiegelstijging scenario's uit het KNMI'23 rapport (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023). Deze drie scenario's zijn gebaseerd op het hoge (Hd, Hn) en lage (Ld, Ln) uitstootscenario. Deze uitstootscenario's worden gekenmerkt door een 'hoge' en 'lage' bandbreedte. Er is gekozen om voor drie scenario's de implementatiepaden te visualiseren: hoge scenario bovenkant bandbreedte (Hd, Hn, 95^e percentiel), lage scenario bovenkant bandbreedte (Ld, Ln, 95^e percentiel) en het lage scenario onderkant bandbreedte (Ld, Ln, 5^e percentiel). Dit omdat het verschil tussen de onderkant van de bandbreedte van Hoog droog en Hoog nat (Hd, Hn, laag percentiel: 5%) en bovenkant van de bandbreedte van Laag droog en Laag nat (Ld, Ln, hoog percentiel: 95%) relatief weinig verschil zit.

Klimaatscenario's:

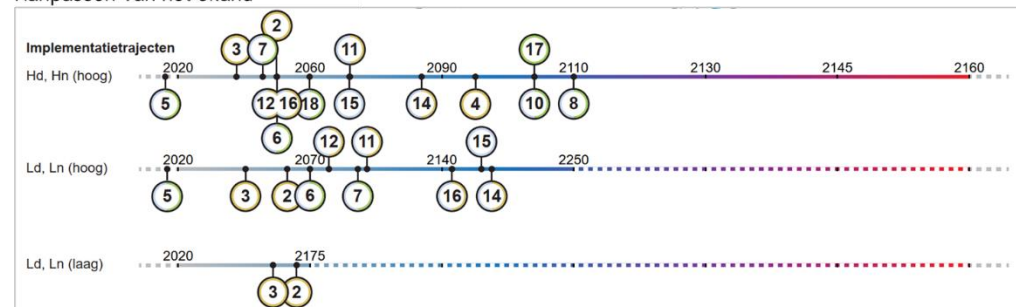
1. Hoge uitstootscenario bovenkant bandbreedte (Hd,Hn hoog, 95^e percentiel);
2. Lage uitstootscenario bovenkant bandbreedte (Ld,Ln hoog, 95^e percentiel) en;
3. Lage uitstootscenario onderkant bandbreedte (Ld,Ln laag, 5^e percentiel).

Op basis van klimaatscenario's en doorlooptijden zijn de implementatiepaden voor de drie strategieën verkregen. Het valt op dat er voor het laagste uitstootscenario (nr. 3) enkel de maatregelen met betrekking tot de bereikbaarheid van het eiland benodigd zijn op de korte en lange termijn. Voor de verdere analyse wordt dit scenario dan ook niet nader beschouwd.

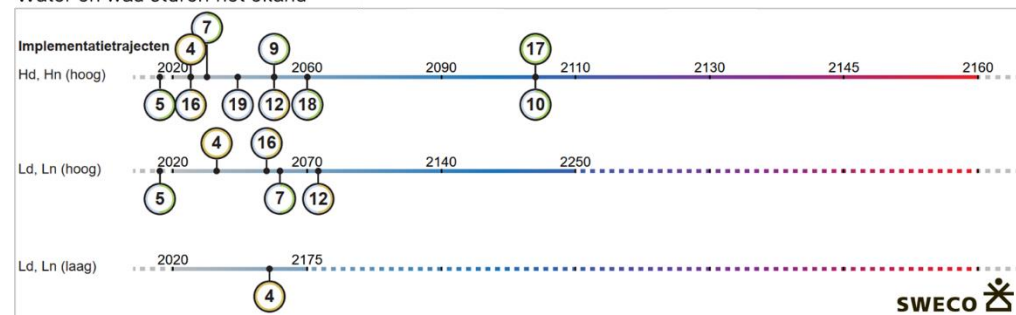
Vasthouden aan het eiland



Aanpassen van het eiland



Water en wad sturen het eiland



Figuur 4-2 Implementatiepaden voor de drie strategieën bij drie uiteenlopende zeespiegelstijging scenario's.

Onderstaand volgt een analyse op hoofdlijnen van de implementatietijden.

1) Maatregelen rondom de bereikbaarheid van het eiland (2, 3, 4)

In alle strategieën en zeespiegelstijging scenario's worden maatregelen voorgesteld om de bereikbaarheid van het eiland in stand te houden. Bij "*Water en wad sturen het eiland*" wordt gekeken naar een alternatief vervoermiddel. Voor "*Vasthouden aan het eiland*" en "*Aanpassen van het eiland*" wordt de huidige vorm van bereikbaarheid in stand gehouden, waarna op den duur bij "*Aanpassen van het eiland*" gekeken wordt naar een alternatief vervoermiddel:

1. "*Vasthouden aan het eiland*": ophogen veerdam en meer baggeren tot een ZSS van +3m.
2. "*Aanpassen van het eiland*": ophogen veerdam tot ZSS +3m, meer baggeren tot een ZSS van +2m en alternatieve bereikbaarheid vanaf ZSS +2m.
3. "*Water en wad sturen het eiland*": alternatieve bereikbaarheid vanaf ZSS +0,5m.

Dit betekent dat bij de strategie "*Vasthouden van het eiland*" vanaf een ZSS van +3m een verminderende bereikbaarheid van het eiland wordt geaccepteerd. Bij de andere twee strategieën, afhankelijk van de inpassing van de maatregel alternatieve bereikbaarheid, hoeft een verminderende bereikbaarheid van het eiland niet op te treden.

2) Maatregel stimuleren kweldergroei eilandstaart (5)

In alle strategieën wordt kweldergroei op de eilandstaart gestimuleerd. In elk scenario is het wenselijk dat de eilandstaart ophoogt met de zeespiegelstijging. Omdat het knelpunt verdrinken van de intergetijde gebieden en wadplaten optreedt bij een ZSS van ca. +0,30m tot +0,55m moet de maatregel in een vroeg stadium toegepast worden. Bij de huidige doorlooptijd van 30 jaar kan gesteld worden dat:

1. Voor zeespiegelstijging scenario (1) de maatregel niet op tijd gerealiseerd kan worden met de huidige doorlooptijden: de zeespiegelstijging gaat sneller dan de aangroeimogelijkheden en het beschikbare sediment;
2. Voor zeespiegelstijging scenario (2) nog 10 á 20 jaar hebben om een keuze te maken om de maatregel toe te passen, daarbij wordt er wel aangenomen dat de snelheid van zeespiegelstijging niet dermate toeneemt dat de natuurlijke aangroei niet meer mogelijk is.

De maatregel komt in alle drie de strategieën voor en de maatregel is dus voor alle strategieën noodzakelijk. In de implementatiepaden is geen scenario waar deze maatregel voor een desinvestering zorgt; er kan gesteld worden dat de maatregel een zogeheten geen spijt maatregelen is.

3) Maatregelen rondom versterken zoetwaterlens (6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 18)

In alle strategieën worden verschillende maatregelen geïntroduceerd die de zoetwaterlens versterken. Het stimuleren van de aangroei van de duinen (7) komt in alle strategieën voor en dient tussen 2030 – 2095 uitgevoerd te worden. Afhankelijk van de strategie worden aanvullende maatregelen geadviseerd, met daarbij de inschatting van de jaartalen wanneer het besluit voor een maatregel genomen moet zijn:

1. "*Vasthouden aan het eiland*":
 - 6: Verbreden dijkfundament (2075);

- 13: Kunstmatig ophogen polder (2070 – 2165);
 - 14: Vasthouden water in de polder en duinen (2085 – 2180);
 - 10: Aanvullen sediment strand en/of voorland (2105) en;
 - 8: Aanvullen volume duinen (kunstmatig) (2110).
2. “Aanpassen van het eiland”:
- 18: Natuurlijk ophogen polder (2060);
 - 6: Verbreden dijkfundament (2075);
 - 14: Vasthouden water in de polder en duinen (2085 – 2180);
 - 10: Aanvullen sediment strand en/of voorland (2105) en;
 - 8: Aanvullen volume duinen (kunstmatig) (2110).
3. “Water en wad sturen het eiland”:
- 9: Washover stuifdijk (2050);
 - 18: Natuurlijk ophogen polder (2060) en;
 - 10: Aanvullen sediment strand en/of voorland (2105).

Een van de belangrijkste uitdagingen voor de leefbaarheid op Schiermonnikoog is het verdwijnen van de zoetwaterlens en daarmee de beschikbaarheid van zoetwater. Het is evident dat maatregelen voor de zoetwaterlens genomen dienen te worden om zoetwaterbeschikbaarheid in de toekomst te garanderen. Uit de strategieën blijkt dat op korte termijn (afhankelijk van het klimaatscenario en strategie, “*Water en wad sturen het eiland*”, op zijn vroegst rond ca. 2040 - 2050) aandacht voor de zoetwaterbeschikbaarheid noodzakelijk is. De gevolgen van verzilting lijken vanuit de strategieën veel eerder problemen op te leveren dan waterveiligheid door zeespiegelstijging. Door hier op korte termijn actie in te ondernemen kan de problematiek van zoetwaterbeschikbaarheid voorkomen worden. Het effect in kwantitatieve zin van de individuele maatregelen op de zoetwaterlens dient nog nader onderzocht te worden.

4) Maatregelen rondom einde levensduur huidige dijk -en duinversterking (zichtjaar 2078)

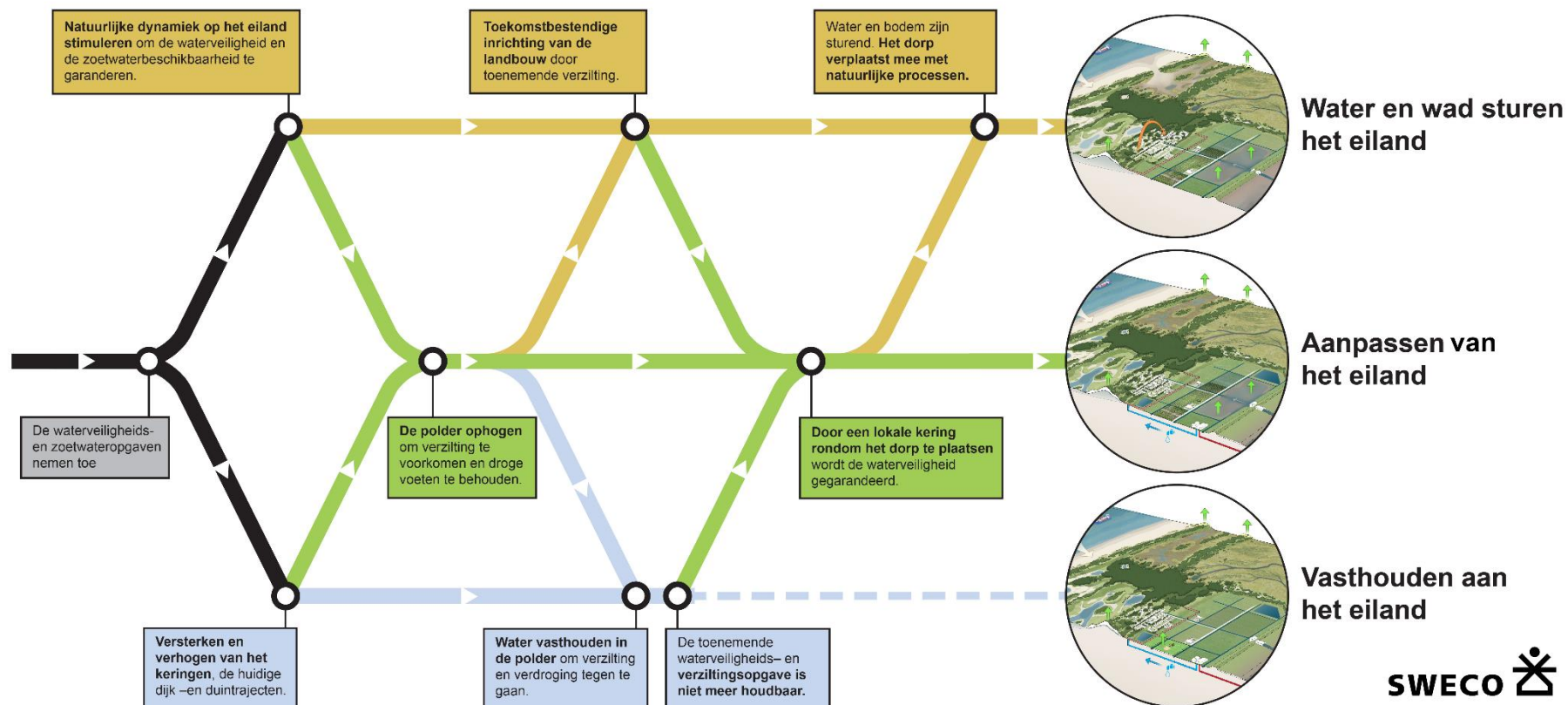
Door de periode rond het zichtjaar 2078 in Figuur 4-2 nader te beschouwen, kunnen de maatregelen die gekoppeld kunnen worden aan de volgende en de huidige dijk- en duinversterkingstraject worden geïdentificeerd. Voor de strategieën “*Vasthouden aan het eiland*” en “*Aanpassen van het eiland*” gaat het om de volgende maatregelen:

- 6: Verbreden dijkfundament;
- 11: Uitlaatduiker vervangen en installatie van een gemaal en;
- 14: Vasthouden water in de polder en duinen.

Aanvullend moet gesignaleerd worden dat voor de strategieën “*Aanpassen aan het eiland*” en “*Water en wad sturen het eiland*” rond 2060 begonnen moet worden met de implementatie van de maatregel natuurlijk ophogen polder. Indien voor deze maatregel (en strategie) gekozen wordt, dient zal hier aandacht voor moeten zijn de uitwerking van de plannen voor de huidige dijkversterking of moet de dijk in de toekomst aangepast worden.

4.3 Strategische adaptatiepadenkaart

De drie strategieën verschillen van elkaar, echter zijn er maar een aantal maatregelen die er voor zorgen dat maatregelen uit andere strategieën echt worden uitgesloten en waardoor een lock-in optreedt. In de strategische adaptatiepadenkaart zijn de drie strategieën tegen elkaar afgezet. De drie strategieën zijn weergegeven met daarbij de onderscheidende maatregelen en waar mogelijk overstapmogelijkheden. Hierin valt op dat voor de strategie *“Vasthouden aan het eiland”* op een punt geen lijn meer doorloopt, deze strategie is namelijk eindig en niet langer als leefbaar eiland gezien kan worden. Op dit moment dient overgestapt te worden naar een van de andere strategieën. Tussen de strategieën *“Aanpassen van het eiland”* en *“Water en wad sturen het eiland”* zijn tot lang in de tijd overstapmogelijkheden omdat in een vroeg stadium maatregelen getroffen worden om de zoetwaterbel te behouden. De zoetwaterbel speelt een belangrijke rol in de leefbaarheid van het eiland aangezien deze voorziet in de drinkwater- en (zoet)waterbehoefte voor de landbouw. Zo worden maatregelen als alternatieve landbouw en het ophogen van de polder toegepast om verzilting van het eiland tegen te gaan. Een alternatieve vorm van toerisme speelt ook een rol in het verlagen van de zoetwaterbehoefte waardoor de druk op de zoetwaterbeschikbaarheid verminderd, deze maatregel is in de strategische adaptatiepadenkaart niet opgenomen als onderscheidende maatregel. Het is duidelijk dat klimaatverandering en zeespiegelstijging op de lange termijn vragen om een andere inrichting van het eiland om te kunnen blijven voorzien in de leefbaarheid. In hoofdstuk 5 worden de conclusies en aanbevelingen richting een toekomstbestendig Schiermonnikoog verder toegelicht.



Figuur 4-3 - Strategische adaptatiepadenkaart



5 Toe naar een toekomstbestendig Schiermonnikoog

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies en advies gegeven naar aanleiding van de bevindingen in deze studie. Er wordt een koppeling gemaakt naar de huidige ontwikkelingen op het eiland, waaronder de Dijk- en Duinversterking Schiermonnikoog.

5.1 Conclusie en advies

Geen- en weinig-spijt maatregelen

Aan de hand van de implementatiepaden en de strategische adaptatiepadenkaart zijn de volgende geen- en weinig-spijt maatregelen geïdentificeerd. Deze maatregelen zijn toepasbaar in ieder hoog klimaatscenario en kunnen uitgevoerd worden zonder daarbij andere maatregelen uit te sluiten in de toekomst.

Onderstaande geen-spijt maatregelen komen voor in elk van de drie strategieën:

- 5: Stimuleren kweldergroei
- 7: Stimuleren aangroei duinen

Deze twee maatregelen maken gebruik van de natuurlijke dynamiek van het eiland. Het inspelen op natuurlijke processen kent een lange realisatietijd. De implementatiepaden laten zien dat de maatregelen al op korte termijn genomen moeten worden om ervoor te zorgen dat het eiland mee kan groeien met de zeespiegelstijging. In het scenario met de hoogste uitstoot zal zo snel mogelijk gestart moeten worden met het stimuleren van de kweldergroei om omstandigheden te kunnen benutten. De exacte mate en snelheid van kweldergroei i.r.t. zeespiegelstijging dient tevens nog verder onderzocht te worden.

Weinig-spijt maatregelen komen in twee strategieën voor. Dit zijn:

- 6: Verbreden dijkfundament
- 11: Uitlaatduiker vervangen en installatie van een gemaal
- 12: Waterbesparend toerisme
- 13/18: (Kunstmatig/natuurlijk) ophogen polder
- 16: Toekomstbestendig landbouw

De weinig-spijt maatregelen die effect hebben op de polder dienen in samenhang te worden beschouwd. Zo heeft de vervanging van de uitlaatduiker en de eventuele installatie van een gemaal effect op de te nemen maatregelen in de polder waaronder de manier van ophogen van de polder en de vorm van toekomstbestendige landbouw.

Het merendeel van de geen- en weinig-spijtmateregelen staan in het kader van de zoetwaterbeschikbaarheid wat het belang van zoetwater in de toekomst benadrukt.



Wat betekent dit voor Schiermonnikoog

De geen- en weinig-spijt maatregelen zijn bepalend voor de leefbaarheid van Schiermonnikoog en de ontwikkeling van verschillende functies op het eiland waaronder natuur, landbouw, zoetwaterbeschikbaarheid en waterveiligheid.

Toekomstbestendig Schiermonnikoog

Om te zorgen dat beslissingen in Schiermonnikoog toekomstbestendig genomen worden, is het noodzakelijk om de uitkomsten van dit onderzoek aan de besluiten te koppelen aan gebiedsinrichting op Schiermonnikoog. Dit moet voorkomen dat er lock-ins ontstaan door de investeringen die in de komende paar jaar gedaan worden. Daarnaast is het wenselijk om mogelijkheden te analyseren om binnen bestaand beleid en regelgeving de eerste stappen te zetten richting toekomstbestendige maatregelen. Er zijn beperkingen in de huidige wet- en regelgeving, bijvoorbeeld binnen N2000. Dit kan bepaalde maatregelen in de toekomst onmogelijk maken, nu daarop voorsorteren geeft de mogelijkheid om breder een strategie te kunnen kiezen.

Natuur

Het huidige natuursysteem op Schiermonnikoog zal veranderen onder invloed van klimaatverandering en zeespiegelstijging. In de duinen zullen er door droogte en zeespiegelstijging veranderingen plaatsvinden in het waterpeil en de zoetwaterbeschikbaarheid. Het stimuleren van dynamiek in de duinen kan bijdragen aan de zoetwaterbeschikbaarheid en het behoud van natuurlijke gradiënten in de duinen. Wanneer de zeespiegelstijging zo snel verloopt dat de kwelders aan de oostkant van het eiland niet meer natuurlijk mee kunnen groeien, zullen ze verdrinken. Hiermee gaan belangrijke natuurwaarden verloren, komt de zoetwaterbel verder onder druk en wordt naar verwachting de waterveiligheidsopgave op het eiland groter. Het huidige beleid voor de kwelder is gericht op het behoud van natuurlijke processen. Op de lange termijn zal dit resulteren in het verdrinken van de kwelders. Het stimuleren van kweldergroei draagt bij aan het (langer) behouden van kwelders. *Dit vereist een nieuw perspectief voor het beheer van de kwelders en een lange termijn visie en aanpak.*

Landbouw

De huidige vorm van landbouw op Schiermonnikoog bestaat uit veehouderijen. Vee is afhankelijk van de beschikbaarheid van zoetwater. Zeespiegelstijging en verzilting leiden ertoe dat de zoetwaterbeschikbaarheid in het geding komt. Wanneer er geen maatregelen genomen worden om de zoetwaterbeschikbaarheid te behouden is de huidige vorm van landbouw onhoudbaar op de lange termijn. Om de huidige vorm van landbouw in stand te houden is het mogelijk om maatregelen te nemen die de zoetwaterbel langer op peil houden of zorgen voor een grotere zoetwaterlens in de polder zoals het verbreden van het dijkfundament, verhogen van de duinen en het ophogen van de polder en vasthouden van meer zoet water. *Desalniettemin zal de transitie naar toekomstbestendige vormen van landbouw op de termijn nodig zijn.* Toekomstbestendige landbouw zal zo ingericht moeten worden dat uiteindelijk minder zoet water nodig is.. Dit betekent dat er wellicht minder maatregelen nodig zijn voor het behoud van de zoetwaterbeschikbaarheid op het eiland.

Zoetwaterbeschikbaarheid

Alle maatregelen die bijdragen aan de zoetwaterbeschikbaarheid kunnen gezien worden als nuttige maatregelen, ofwel geen-spijt maatregelen. Uit de scenario's blijkt dat, als gevolg van zeespiegelstijging, de zoetwaterbeschikbaarheid het meest dreigende probleem is om het eiland leefbaar te houden. Het duurzaam omgaan met zoetwater is leidend voor de leefbaarheid op het eiland. De toeristische sector zorgt, met name in de zomer maanden, voor een grote



zoetwatervraag. In combinatie met zeespiegelstijging en droogte zal in het toeristenseizoen de zoetwaterbel in de toekomst steeds vaker onder druk komen te staan. *Inzetten op waterbesparend toerisme is hierin een belangrijke stap, dit is onderdeel van bestaand beleid maar kan mogelijk nog verder worden uitgediept.*

Waterveiligheid

Voor waterveiligheid is de geen-spijt maatregel die bij alle strategieën naar voren komt het natuurlijk laten aangroeien van de duinen. De ophoging van de duinen zorgt voor een verhoogde bescherming tegen hoogwater vanaf de Noordzee. Hier is echter wel een weinig-spijt maatregel voor: het verbreden van het dijkfundament komt namelijk in twee van de drie strategieën voor. Dit draagt bij aan waterveiligheid en aan het verlengen van de kwelweg waardoor minder zoute kwel het eiland op komt, hiermee draagt deze maatregel bij aan de zoetwaterbeschikbaarheid (verminderde vraag) en langer behoud van landbouw.

Aanbevelingen voor de Dijk- en Duinversterking (VKA)

Vanuit de ontwikkelde strategieën en de daaruit volgende geen-spijt maatregelen is het voor het VKA van de Dijk en Duinversterking aan te raden om de aangroei van duinen te stimuleren. Deze natuurlijke ophoging zorgt ervoor dat de duinen bestand zijn tegen een stijgende zeespiegel en voldoen aan een grotere waterveiligheidsopgave, maar geeft de natuur in het duinsysteem tijd en ruimte om mee te ontwikkelen met de duinen. Hierbij is het van belang dat bij ingrepen naar de lange termijn effecten van maatregelen gekeken wordt en dat alternatieven voor ophogen van de duinen verkend worden. Het kan zijn dat het wenselijk is om in de tijd ingrepen te nemen waar nu ruimtereserveringen voor nodig zijn.

Het verbreden van het kustfundament is een weinig-spijt maatregel voor de waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en behoud van landbouw van de polder. Bij deze maatregel wordt een kwelder of brede vooroever van tientallen meters¹ voor de dijk aangebracht om te zorgen dat de weg van zoute kwel richting de polder verlengd wordt. Dit biedt tevens een basis voor eventuele toekomstige dijkverzwaringen. In de huidige dijk is een duiker aanwezig. In de toekomst kan een gemaal noodzakelijk zijn binnen de levensduur van de te plaatsen duiker, het is daarmee wenselijk te verkennen of het nuttig is ruimte te reserveren voor het bouwen van een gemaal of het aanpassen van de duiker. Een grotere duiker kan in de toekomst namelijk ook gebruikt worden in combinatie voor het natuurlijk ophogen van de polder, bijvoorbeeld middels een wisselpolderconcept.

Als er niet wordt gekozen voor een manier om te zorgen dat de kwelweg verlengd wordt, ontstaat er eerder een situatie waarin overstappen naar toekomstbestendige landbouw noodzakelijk is. Het is daarom belangrijk om de afweging te maken of er een breder dijkfundament aangelegd gaat worden en/of de polder op te hogen. Dit kan namelijk in de toekomst voor extra kosten zorgen of de huidige vorm van landbouw onmogelijk maken.

5.2 Aanbevelingen voor 1Eilaun partners

Het is van belang de resultaten van dit onderzoek regelmatig te herijken. Als gevolg van voortschrijdend inzicht of nieuwe kennis en ontwikkeling kan het zijn dat inzichten of resultaten in de toekomst veranderen. Het is dan goed de verschillende strategieën tegen het licht te houden en te bepalen of ze (inclusief

¹ Nader onderzoek zal moeten bepalen hoe breed deze vooroever zal moeten zijn.



maatregelen, knel- en knikpunten) nog passen binnen de dan geldende verwachtingen van de toekomst. Dit sluit aan bij het principe van adaptief werken en herijken van strategieën conform de aanpak van het Nationaal Deltaprogramma.

In dit rapport zijn er enkele aannames gedaan over bepaalde knik- en knelpunten op basis van expert-judgement. Ter voorbereiding op een herijking of vervolg is het wenselijk om deze verder uit te zoeken. Veranderingen in de omgeving of beleid kan er voor zorgen dat doorlooptijden veranderen, ook dit kan invloed hebben op het moment van het nemen van beslissingen. Hieronder zijn de openstaande onderzoeksvragen gegeven welke in ieder geval van belang zijn om verder te verkennen:

- Bekend is dat het verbreden van het dijkfundament kwel terugdringt. Het is onduidelijk wat de precieze breedte moet zijn om hier een significant effect op te hebben. Bij het ontwerpen van een breder dijkfundament voor dit doeleinde is het wenselijk om te weten hoe breed het fundament moet zijn bij hoeveel zeespiegelstijging om effectief te kunnen zijn. Dit kan voor verschillende mogelijkheden zorgen en heeft daarmee invloed op de strategieën.
- Het is bekend dat bij een stijgende zeespiegel de zoetwaterlens kleiner zal worden. Hierover zijn inschattingen te maken op basis van andere studies maar het is onbekend hoe groot en hoe snel dit effect precies optreedt in relatie tot de zeespiegelstijging. Het is daartegenover ook onbekend hoe groot het positieve effect op de zoetwaterbel is van ingrepen zoals het verhogen van de duinen en polder. Beide elementen zullen verder moeten worden onderzocht om strategieën en besluitvorming verder te concretiseren.
- Diverse maatregelen zijn afhankelijk van natuurlijke processen zoals sediment aanvoer en overstromen van land en daarmee aanslibbing. Wanneer de zeespiegelstijging te snel gaat kan dit er voor zorgen dat opslibbing niet meer mogelijk is. Het is van belang rekening te houden met natuurlijke omstandigheden om de natuur zijn werk te laten gaan en zo natuurlijke oplossingen te benutten. Op basis van beschikbare kennis zijn hier inschattingen voor gemaakt, dit vraagt verder onderzoek.
- Met de huidige implementatietijd voor het stimuleren van kweldergroei is bepaald dat in het hoogste klimaatscenario het optimale beslismoment in het verleden ligt. Dit betekent niet dat het alsnog implementeren van de maatregel geen effect kan hebben op het vergroten van de kwelweg en verdrinking van de intergetijde gebieden kan voorkomen, of in ieder geval vertragen. Door verder onderzoek te doen naar snelheid van kweldergroei en de snelheid van zeespiegelstijging kan de effectiviteit beter beoordeeld worden.

6 Verwijzingen

- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2014, maart 7). *Waddeneilanden meest toeristische gemeenten*. Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2014/10/waddeneilanden-meest-toeristische-gemeenten>
- Deltares. (2018). *Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het deltaprogramma. Een verkenning*. Delft: Deltares rapport 11202230-005-0002.
- Deltares. (2020). *Sedimentbalans Waddenzee: Synthese ten behoeve van Technisch Advies Kustgenese 2.0*.
- Deltares. (2021). *Help, de Waddenzee verdrinkt!*
- Dinoloket. (2023). *Ondergrondmodellen*. Opgehaald van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen/kaart>
- Essink, G. O. (2024, maart 04). Interview. (R. Nijholt, Interviewer)
- Katja Philippart. (2024). *Expert Interview Ecologie - Pilot adaptief werken*. (2023). *KNMI'23 klimaatscenario's*.
- Ministerie van I & W. (2023). *Tussenbalans van het kennisprogramma zeespiegelstijging*. Den Haag: Ministerie van I & W.
- Nationaal park Schiermonnikoog. (2011). *Beheer- en inrichtingsplan 2011-2022*. Leeuwarden: Provincie Fryslân.
- P.C. Vos, E. K. (2015). Holocene landscape reconstruction of the Wadden Sea area between Marsdiep and Weser. *Netherlands Journal of Geoscience*.
- Provincie Fryslân. (2017). *Document PAS-analyse Herstelstrategieën voor Schiermonnik-*. Leeuwarden: Provincie Fryslân.
- Provincie Fryslân. (2023). *Natuurdoelanalyse Schiermonnikoog*. Leeuwarden: Provincie Fryslân.
- Provincie Fryslân, Vitens & Wetterskip Fryslân. (2019). *Grondwater atlas van Fryslân*. Leeuwarden: Provincie Fryslân, Vitens & Wetterskip Fryslân.
- Svasek. (2023). *Haalbaarheid morfologische ingrepen vooroever Waddenzeedijk Schiermonnikoog*.
- UNESCO. (2012). *The Waddensea, Germany and the Netherlands*. Wilhelmshaven: Common Waddensea Secreteriat.
- Van Asselen, S., Kooi, H., & Van den Akker, J. J. (2020). *Deltafact Bodemdaling*. STOWA.
- VE-R. (2023). *Het Wad verdrinkt*. Haarlem: VE-R.
- Vitens & RHDHV. (2011). *Hydrologische systeemanalyse Waddeneilanden*. Groningen: Vitens.
- Waddenacademie. (sd). *Morfodynamiek Waddenzee*. Opgehaald van Waddenacademie: <https://www.waddenacademie.nl/themas/geowetenschap/geowetenschap-vernieuwd/morfodynamiek-waddenzee/>
- Waddenacademie. (n.d.). *Morfodynamiek Waddenzee*. Opgehaald van Geowetenschap en klimaat: <https://www.waddenacademie.nl/themas/geowetenschap/geowetenschap-vernieuwd/morfodynamiek-waddenzee/>
- Wetterskip Fryslân. (2023). *Achtergronddocument Blauwe Omgevingsvisie. Klimaatbestendig Fryslân 2050+*.



Bijlagen

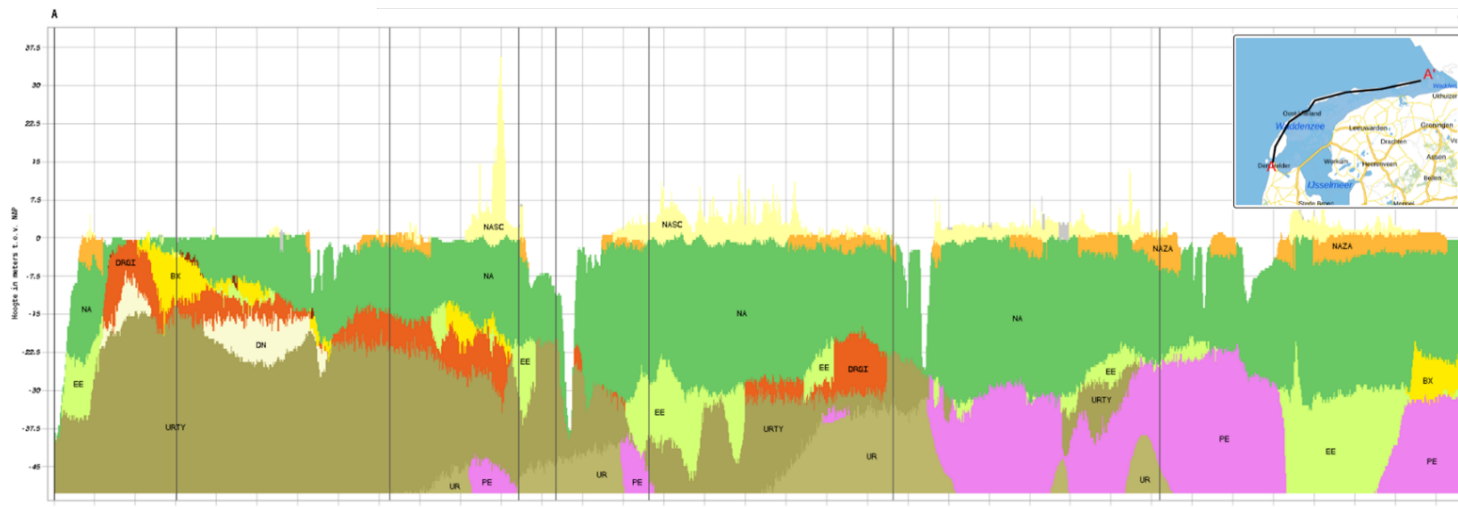
Bijlage A: Complete systeembeschrijving

Bodem en ondergrond

Waddengebied

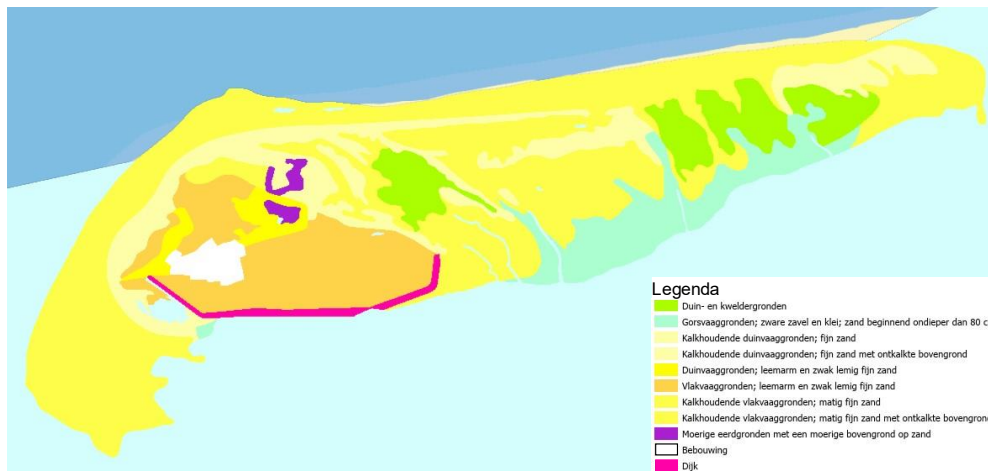
Het afremmen van de zeespiegelstijging tot 15 cm per eeuw circa 8.000 jaar geleden heeft het ontstaan van de Waddenzee, gekenmerkt door getijdenvlaktes en kwelders, mogelijk gemaakt. Het ontstaan van deze getijdenvlaktes en kwelders is mogelijk gemaakt door de grote hoeveelheden zand, opgeslagen in het Noordzeebekken, het getij van de Noordzee en het bereik van het getij (Deltares, 2021). De grondopbouw onder het Waddengebied bestaat voornamelijk uit zandlagen afkomstig uit verschillende afzettingsperiodes, zie Figuur 0-1. Op locaties zullen kleiige afzettingen in ondiepe lagen aanwezig zijn, welke afkomstig zijn uit stormvloed. Tussen Texel en Ameland wordt veelal grof zand, afkomstig uit getijbekken, op grotere dieptes gevonden (Formatie van Urk). Op deze formatie heeft zich in de glaciële periode keileem afgezet (rode vlakken, Formatie van Drenthe). Beide formaties liggen richting het oosten dieper gelegen en zijn tussen Ameland en Schiermonnikoog afwezig of in sterk mindere matig aanwezig. Hier wordt voornamelijk een sub glaciële afzetting gevonden afkomstig uit de Formatie van Peel. Boven deze grove zandige lagen wordt voornamelijk een fijne tot grove zandige afzetting uit de Formatie van Naaldwijk gevonden, voortkomend uit de getijbekken. Deze afzetting definieert de bovenste laag van de Waddenzee.

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.6



Figuur 0-1 Bodemopbouw van Den Helder (links) tot Schiermonnikoog (rechts) (Dinoloket, 2023).

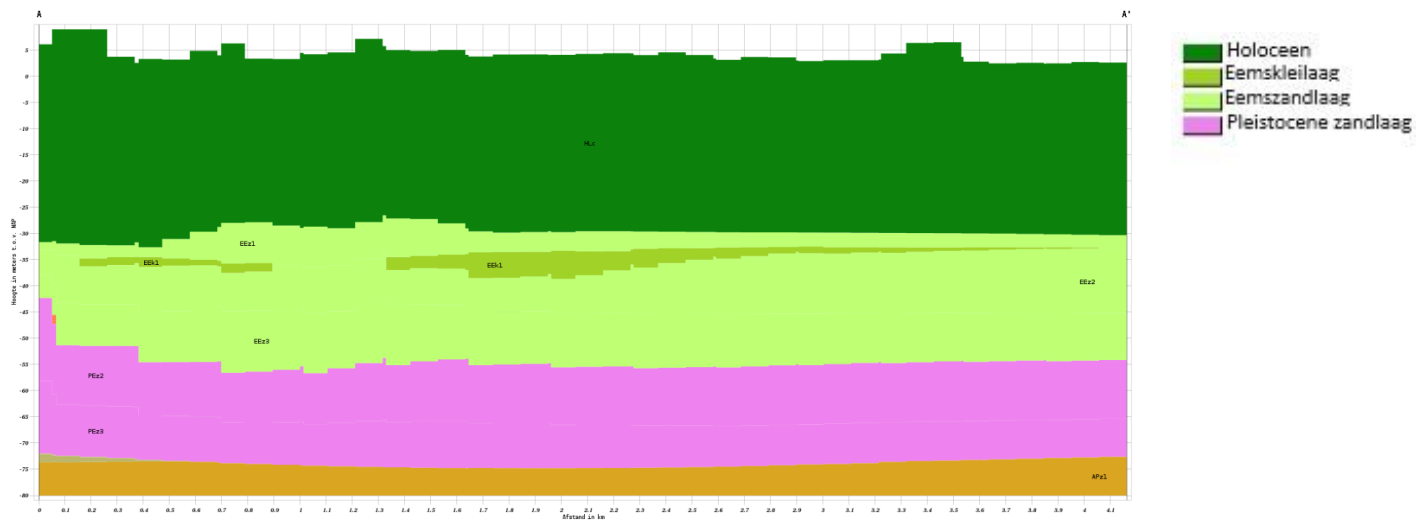
De bodemopbouw van Schiermonnikoog varieert tussen zandige en kleiige gronden. In figuur 0-2 is de bodemkaart van het eiland opgenomen. De duinen, het strand en de zandplaten zijn opgebouwd uit kalkrijke zandgronden. In de binnenduinrand bestaat de ondergrond uit humusrijke zandgronden, welke is ontstaan door de ophoping van organisch materiaal in deze overgangszone. De polder is ontstaan door de inpoldering van een kweldergebied van het eiland. Daarom heeft de polder, in contrast met de rest van het eiland, een zandige en kleiige ondergrond die in het verleden is afgezet door de zee (Wetterskip Fryslân, 2023).



Figuur 0-2 Bodemkaart Schiermonnikoog (Dinoloket, 2023).

De verschillende grondlagen beïnvloeden de doorlatendheid en grondwaterstromen. Klei en veenlagen zijn doorgaans ondoorlatend en verhinderen de indringing van zoutwater, daardoor hebben deze lagen een belangrijk functie voor behoud van de zoetwaterlens. Het gebied tussen de Westerduinen en de Reddingsweg vormt het hoge infiltratiedeel van het grondwatersysteem. In dit centraal duingebied liggen de grondwaterstanden hoog, in de winter hoger dan NAP +2,00m en in de zomer hoger dan NAP +1,75m. Binnen het centraal duingebied zijn sterke verschillen in de grondwaterstand waar te nemen; zo ligt de grondwaterstand nabij de Badweg relatief hoog, rond NAP +3,50 m in de winter. De fluctuatie in de grondwaterstand is hier wel significant groter, het peil daalt in de zomer naar ca. NAP +2,50m. Dit grondwaterregime kan grotendeels toegekend worden aan de onderliggende holocene kleilaag maar ook de dieper gelegen kleilaag afkomstig uit de Eem Formatie (Provincie Fryslân, 2017), deze lagen bevorderen het behoud van zoetwater en verminderen zoute kwel. De verschillen in de grondwaterstanden voor de zomer en winter zijn weergegeven in Figuur 0-3. Het patroon in deze figuur komt grotendeels overeen met de te observeren grondopbouw. In Figuur 0-4 is de dieper gelegen Eemskleilaag inzichtelijk gemaakt met behulp van een doorsnede. Hieruit kan opgemaakt worden dat voor een gedeelte over de doorsnede de kleilaag ontbreekt. Dit is terug te zien in Figuur 0-3, waar de grondwaterstand lager ligt dan op locaties waar de kleilaag aanwezig is.

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2.1

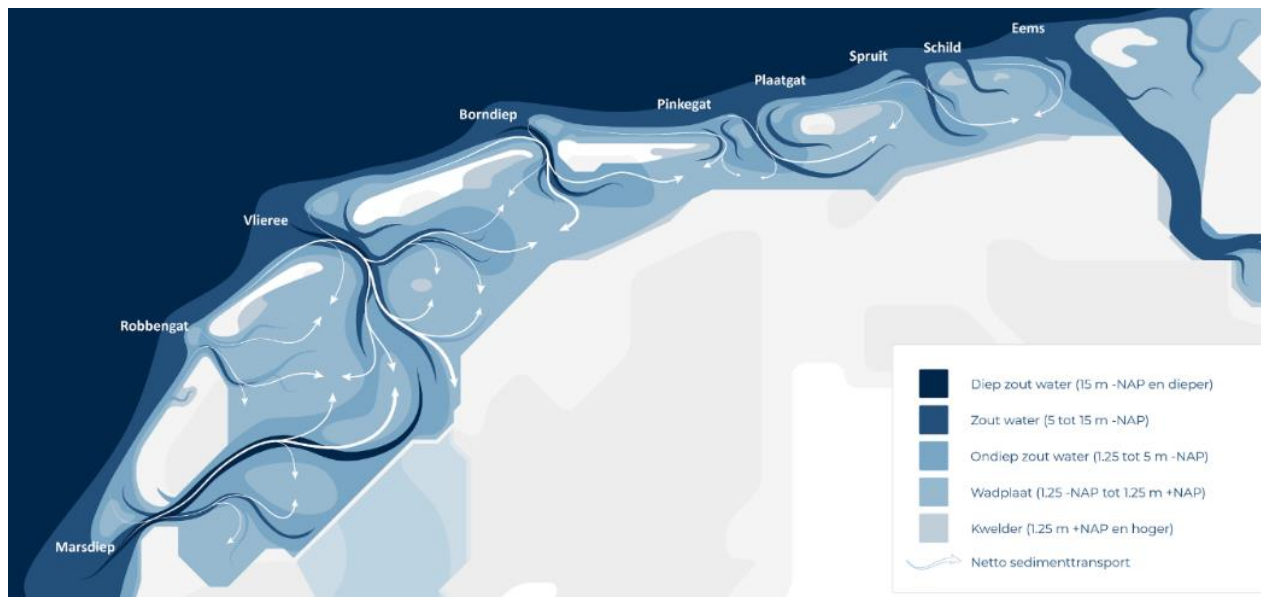


41

Huidige watersysteem

Hoofdwatersysteem

De huidige Waddenzee wordt gekenmerkt door drie systemen: het natuurlijk kuststelsel en twee door de mens gecreëerde systemen. Het natuurlijke stelsel wordt gevormd door het getij en patronen van wind en stormen. In figuur 0-5 is een globaal overzicht van het netto sedimenttransport en de Waddenzee opgenomen. In de figuur zijn de vele zeegaten en geulen tussen de eilanden, het netto sedimenttransport en waterdieptes te zien.

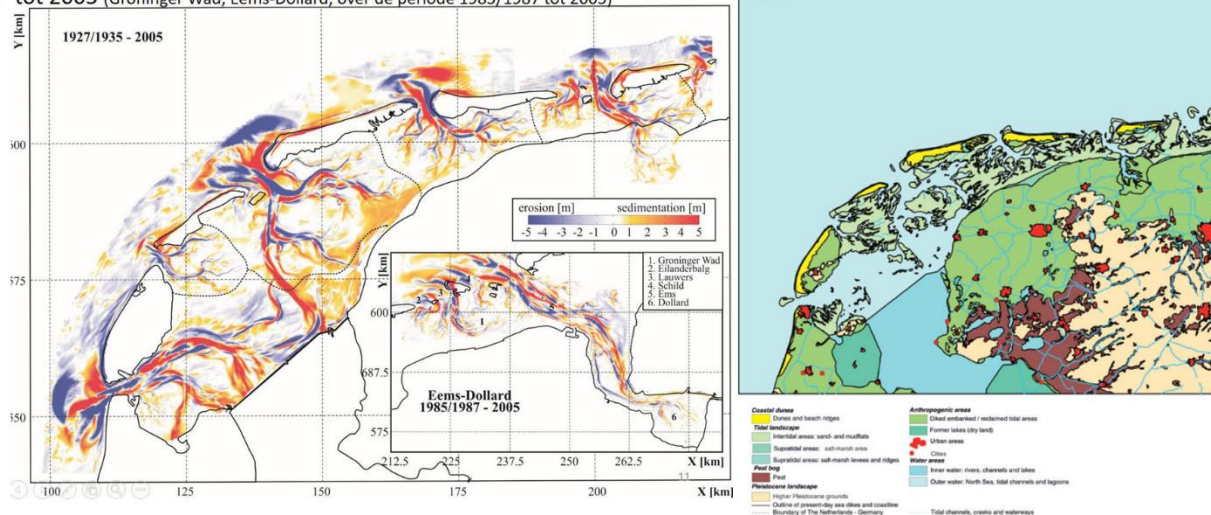


Figuur 0-5 - Schematische weergave van het natuurlijk systeem in het Waddengebied (Deltares, 2021)

De andere twee systemen zijn ontstaan door menselijk handelen en worden gekenmerkt door het aanleggen van harde elementen (strekdammen en dijken), door zandsuppleties en baggerwerkzaamheden. De harde elementen beïnvloeden de stromingen, dienen kusterosie te voorkomen en het opslibben van kwelder te bevorderen (Deltares, 2021). Door het aanleggen van deze elementen ontstaan er voorlanden voor de dijken, waardoor erosie van de dijken beperkt wordt. Zandsuppleties in de Noordzee bevorderen de stabiliteit van het kustfundament en baggerwerkzaamheden in de Waddenzee houden belangrijke aanvoerroutes open.

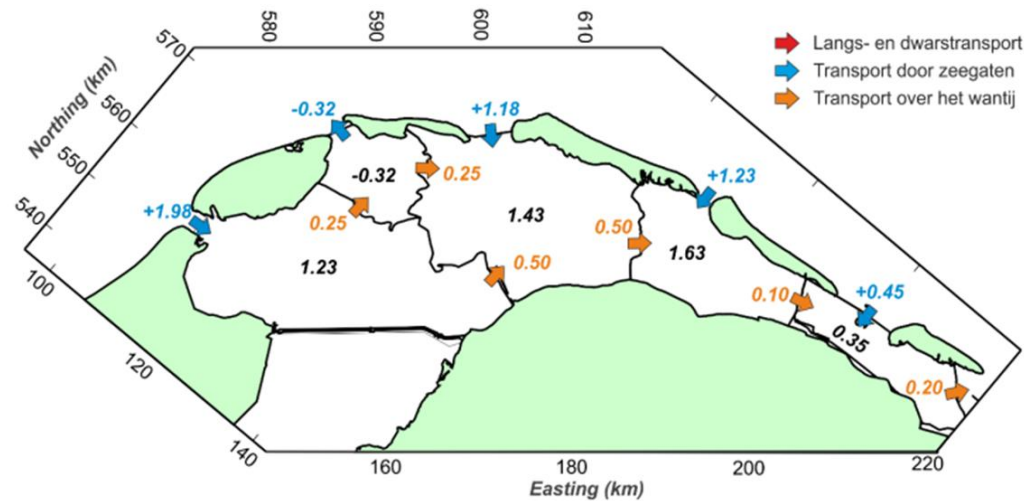
Het afsluiten van de Zuiderzee door de bouw van de Afsluitdijk heeft hedendaags nog steeds invloed op het systeem. In figuur 0-6 links is te zien dat na de bouw van onder andere de Afsluitdijk op verschillende locaties sedimentatie van het waddengebied optreedt, zogenaamde zandhonger. Hierdoor verzanden de stroomgeulen en de kwelders. Momenteel behoren de kwelders tot de intergetijde gebieden van de Waddenzee en staan onder water gedurende hoogtij, zie figuur 0-6 rechts. Mogelijk zullen deze gebieden verder verzanden door het aangevoerde sediment, waardoor de kwelders bij vloed niet meer onder water komen te staan.

Representatieve sedimentatie-erosie kaart over de periode 1927/1935 tot 2005 (Groninger Wad, Eems-Dollard, over de periode 1985/1987 tot 2005)



Figuur 0-6 - Links: Sedimentatie-erosie kaart (Waddenacademie, n.d.). Rechts: paleografische kaart (P.C. Vos, 2015, p. 170).

De huidige trends laten deze verzanding ook zien. In Figuur 0-3 is het jaarlijkse zandtransport van de Waddenzee op grote schaal gevisualiseerd. Door de zeegaten tussen de eilanden wordt jaarlijkse enkele miljoenen kuub aan zand aangetrokken. Het zand verspreidt zich daarnaast via het wantij over de verschillende wadplaten oostwaarts. Enkel bij het Eierlandse gat wordt er sediment netto onttrokken. Zeespiegelstijging veroorzaakt mogelijk verstoringen van de huidige sedimenttransporten. De snelheid van zeespiegelstijging speelt hier met name een grote rol in. In de volgende paragraaf worden de effecten van zeespiegelstijging verder beschreven.



Figuur 0-7 Uitwerking sedimentbalansmodel Waddenzee op schaal van de zeegaten representatief voor de huidige trends, in miljoen m³ per jaar (Deltares, 2020, p. 17).

Watersysteem Schiermonnikoog

Schiermonnikoog kent een zoete kern die omgeven is door zout water. Onder de duinen is een zoetwaterlens van ca. 80 meter diep aanwezig, wat tevens de enige bron van zoet water op het eiland is. Deze zoetwaterlens wordt alleen door infiltratie van neerslag op het eiland gevoed. Zoet water wordt op twee manieren uit deze zoetwaterlens onttrokken; water wordt opgepompt ten behoeve van de drinkwatervoorziening op het eiland en natuurlijke onttrekking in de vorm van zoete kwel. In tegenstelling tot andere eilanden is er geen waterleiding naar het vaste land waardoor Schiermonnikoog zelfvoorzienend op het gebied van drinkwater en daarmee volledig afhankelijk is van de zoetwaterlens. De zoete kwel die uit deze lens stroomt komt voornamelijk voor aan de voet van de duinen en in de polder. Deze kwel voedt het natuurlijke oppervlakte watersysteem welke de natuur en landbouw van zoet water voorziet (Vitens & RHDHV, 2011). Het watersysteem op Schiermonnikoog kan onderscheiden worden in twee verschillende deelgebieden:

- Het centrale duincomplex inclusief het dorp en de polder;
- De eilandstaart.

In de centrale duinen vindt de meeste infiltratie van zoetwater plaats door de neerslag die op de duinen valt en in de duinvalleien terechtkomt. Hierom wordt in de centrale duinen water gewonnen in de Hertenbosvallei (diepste punt van de zoetwaterlens) en bij de Westerplas (grootste zoetwaterplas van het eiland)



(Provincie Fryslân, 2017). In de duinen zorgt de kwel die vanuit de zoetwaterlens optreedt voor wateroverlast, zoals bij de sportvelden ten noorden van het dorp waar zoetwater op kwelt. In de Banckspolder voedt de kwel uit de zoetwaterlens het watersysteem en is daarmee cruciaal voor de zoetwaterbalans in de polder. Dit watersysteem bestaat uit een patroon van sloten die het water van het noorden naar het zuiden afvoeren richting de afvoerduiker, gelegen op het laagstgelegen punt ten oosten van de veerdam. De laag gelegen polder heeft daarmee een drainerende werking op het grondwater. Het overtollige water wordt via de afvoerduiker afgevoerd naar de Waddenzee. Het dorp ligt relatief hoog waardoor hier weinig sprake is van wateroverlast. Regenwater spoelt af richting het omliggende gebied of wordt afgevoerd via het verharde oppervlak waarna het wordt opgevangen in het rioolsysteem. Het centrale duincomplex vormt deel van de waterkering aan de west-, noord- en oostkant van het eiland. De dijk, ten zuiden van de Banckspolder, borgt de waterveiligheid vanaf de Waddenzee. De ring van keringen om de eilandkern zorgt ervoor dat zoutwater niet de overhand heeft op de kern van het eiland. De Kobbeduinen en de Kooiduinen dienen aan de oostkant van de eilandkern als barrière tussen het zoete en brakke watersysteem door de aanwezigheid van zoetwaterlenzen die onder deze duinen liggen (ca. 10 m diep) (Vitens & RHDHV, 2011).

De eilandstaart aan het oosten van het eiland kent een natuurlijk verloop van zout naar zoet water en bestaat uit een duin- en slenkensysteem waarin duinvalleien in het noorden overgaan tot slenken en geulen in het zuiden. Dit watersysteem op de eilandstaart in het oosten van het eiland kan los worden gezien van het zoete watersysteem in de centrale duinring. Het beleid is om de natuur hier zijn gang te laten in contrast met het centrale duingebied waar de natuur en de mens naast elkaar bestaan (Vitens & RHDHV, 2011).

Het ecosysteem van Schiermonnikoog

Het ecosysteem van de Waddenzee is complex en de aanwezige natuurwaarden overstijgen lokale, regionale en nationale schaalniveaus. De Waddenzee heeft een belangrijke functie als kraamkamer voor diverse soorten, waaronder vogels, vissen en schelpdieren. Ook is het gebied een rustplaats voor de 12 miljoen vogels die er jaarlijks passeren of overwinteren. Om deze redenen is het Waddengebied gekwalificeerd als UNESCO werelderfgoed (UNESCO, 2012). De Waddenzee kent een hoge dynamiek die wordt gestuurd door natuurlijke processen die grotendeels ongestoord plaats kunnen vinden. Daardoor is de productie van biomassa hoog en hebben vogels, vissen en schelpdieren voldoende voedsel beschikbaar. Dit is ook de reden voor de hoge biodiversiteit die in de Waddenzee aanwezig is.

Schiermonnikoog vervult hierbij een karakteristieke rol voor het ecosysteem in de Waddenzee door de grote aanwezige dynamiek op het eiland. Deze dynamiek bestaat door de natuurlijk aanwezige gradiënten op het eiland die bestaan uit overgangen tussen hoog en laag, nat en droog, jong en oud, en variatie in dynamiek en zoutgehalte. Dit samenspel van grotendeels natuurlijke variatie zorgt voor een samenhangend landschap met verschillende mozaïeken met een hoge biodiversiteit (Provincie Fryslân, 2023). Op hoofdlijnen bestaat het natuurlijke systeem van het eiland aan de westkant uit hogere duinen en duinvalleien. De dynamiek aan deze kant van het eiland is minimaal door de aanplanting van helmgras in het westen en de aanleg van een stuifdijk aan de noordzijde. Idealiter zou er meer verstuiwing plaatsvinden waardoor er ook embryonale, jonge en oude duinen ontstaan. Deze variatie in duinen zorgt voor een meer gevarieerde vegetatie en daarmee een hogere biodiversiteit (Provincie Fryslân, 2017). Aan de oostzijde van het eiland ligt een (voormalig) washovercomplex en de eilandstaart. Het washovercomplex is aan het begin van de 19^e eeuw afgesloten door de aanleg van een stuifdijk die het gebied beschermd tegen overstromingen vanaf de noordzijde. Aan de zuidkant van het washovercomplex en de eilandstaart liggen kwelders van verschillende ouderdom. Deze worden aan de noordzijde afgewisseld met duinruggen. De jongere lage kwelders en oudere hoge kwelders worden doorkruist door een



systeem van slenken en geulen. Deze vormen een zout-zout overgang met de Waddenzee. De dynamiek aan deze kant van het eiland is groot en de natuur wordt hier grotendeels zijn gang gelaten. De kwelders staan met enige regelmaat onderwater waarbij slib wordt afgezet en de kwelder groeit; hierdoor groeien de kwelders mee met de zeespiegelstijging (Provincie Fryslân, 2017).

De Natura-2000 doelstellingen die zijn opgesteld voor de oppervlakte en kwaliteit van verschillende habitattypen dienen als leidraad voor het behoud van de huidige natuurwaarden. De instandhouding van de aanwezige natuurwaarden en de hoge kwaliteit van natuur vraagt constant beheer. Een hoge stikstofdepositie zorgt voor een verslechtering van de aanwezige habitattypen wat doorslaat op de aanwezige soorten; successie leidt ertoe dat verschillende populaties onder druk komen te staan. Beheer- en natuurherstelmaatregelen zijn nodig om de dynamiek van het eiland te verhogen en problemen zoals verruiging tegen te gaan. Zonder maatregelen zal de biodiversiteit op het eiland achteruitgaan (Provincie Fryslân, 2023).

Effecten klimaatverandering op Schiermonnikoog

Neerslag, droogte, hitte

Toenemende neerslag in de winter en droogte in de zomer leiden ertoe dat de grondwaterstanden op het eiland sterker gaan fluctueren. De zomers zullen droger worden en de winters natter. De jaarlijkse hoeveelheid neerslag zal ongeveer gelijk blijven, uitgaande van drie van de vier klimaatscenario's van het KNMI. De toename in neerslag in de winter is over Nederland gezien vrijwel overal even groot, maar de afname in neerslag in de zomer kan over Nederland sterk verschillen. De afname in de zomer is het grootst in het zuiden en het westen, met andere woorden de afname in neerslag zal op Schiermonnikoog minder zijn dan in de rest van Nederland. Hiermee is dus ook de verwachting dat het neerslagtekort op Schiermonnikoog dus minder hard zou oplopen in de zomer in vergelijking met de rest van Nederland (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023).

Zeespiegelstijging

Zeespiegelstijging heeft grote effecten op het eiland en de Waddenzee. Onbeschermde delen van het eiland waaronder het strand en de kwelders zullen in de toekomst vaker onder water komen te staan. Wanneer deze gebieden niet mee kunnen groeien met de zeespiegelstijging door natuurlijke aanslibbing zullen deze permanent onder water komen te liggen. Dit wordt bepaald door de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt. Bij een zeespiegelstijging meer dan 40-60 cm per eeuw zullen de intergetijdengebieden (droogvallende wadplaten) verdwijnen in de Waddenzee (VE-R, 2023). De kwelders op het eiland kunnen voorlopig nog meegroeien met de huidige snelheid van zeespiegelstijging. Onzeker is of dit op de lange termijn ook het geval is wanneer de zeespiegel met meer dan 100cm per eeuw zal stijgen (Deltares, 2018).



Gevolgen klimaatverandering voor Schiermonnikoog

Verzilting, zoetwaterbeschikbaarheid

Verzilting van het grondwater is momenteel een bedreiging voor de zoetwaterbeschikbaarheid op het eiland. In de toekomst zal deze bedreiging groter worden door zeespiegelstijging die voor meer zilte kweldruk zorgt. Dit kan leiden tot schade aan de landbouw in de lageregelegen polder. Wanneer het polderpeil gelijk blijft zal de zoet-zout grens in het grondwater hoger komen te liggen. (Provincie Fryslân, Vitens & Wetterskip Fryslân, 2019). Wanneer verzilting optreedt kan het tot ca. 5 jaar duren voordat de ondergrond weer de natuurlijke zoete staat heeft. Ook de dieper gelegen zoetwaterlens van het eiland zal negatieve effecten ondervinden door de opkomende verzilting. Zilte kweldruk kan ertoe leiden dat de zoetwaterlens omhoog wordt gedrukt. Bij een hoger maaiveld zal de grondwaterstand stijgen en bij een lager maaiveld kan er zelfs meer zoete kwel optreden. Voor Schiermonnikoog betekent dit dat als de duinen hoog genoeg zijn, de grondwaterstand stijgt en het volume van de zoetwaterlens enigszins gelijk blijft. Wanneer het maaiveld lager is en de zoetwaterlens omhoog wordt gedrukt kan er wel zoete kwel optreden waardoor de zoetwaterlens krimpt. (**Expertsessie**). Droogte is, naast verzilting, ook een belangrijke factor voor de zoetwaterbeschikbaarheid op het eiland. De droogte, die ontstaat door een neerslagtekort en verdamping, leidt ertoe dat minder zoetwater infiltreert in de ondergrond. Droogte leidt ook tot lagere (grond)waterstanden in laaggelegen gebieden die hierdoor een grotere drainerende werking hebben op het grondwater uit de hoger gelegen duinen (Vitens & RHDHV, 2011). Daarmee heeft een toename van droogte in de Banckspolder dus een grotere drainerende werking op de zoetwaterlens in de duinen.

Uit onderzoek van Deltares blijkt dat zeespiegelstijging, verzilting en droogte ertoe leiden dat de zoetwaterlens van het eiland geleidelijk af zal nemen en, na 2200, zal verdwijnen. Dit betekent dat het omslagpunt voor het gebruik van de zoetwaterlens ten behoeve van drinkwateronttrekking tussen nu en 2200 ligt (Deltares, 2018).

Waterveiligheid - morfologie

Ondanks dat de waterveiligheid op dit moment geborgd is zal er in de toekomst een grotere opgave zijn door zeespiegelstijging. Netto stijgt de zeespiegel sneller dan dat de bodem groeit, waardoor de toename van de hydraulische belastingniveaus meer is dan de zeespiegelstijging. Hierdoor zullen waterkeringen langs de Groningse en Friese vastelandskust hoger moeten worden. Voor Schiermonnikoog is 0,5-1,0 meter de minimaal benodigde ophoging van de kruinhoogte bij zeespiegelstijging van 1 meter in 2200 t.o.v. 2050. De waterveiligheidsopgave wordt naar verwachting kleiner wanneer de kust van Schiermonnikoog kan meegroeien met de zeespiegelstijging (Ministerie van I & W, 2023).

Natuur en ecologie

De natuur op en rondom Schiermonnikoog zal veranderen door de invloed van zeespiegelstijging, verzilting, veranderingen in neerslag en hogere temperaturen. Hoe de natuur precies veranderd in de toekomst is niet vast te stellen aangezien de natuur op en rondom Schiermonnikoog complex is en er veel onzekerheden zijn over de effecten van klimaatverandering op de natuur. De verwachting is er veranderingen gaan plaatsvinden in de samenstelling van soorten en dat grenzen van bepaalde habitattypen gaan verschuiven als gevolg van klimaatverandering of zelfs verdwijnen (**Expertsessie & Ontwerpsessie**).

Het Waddengebied

De samenstelling van soorten verandert als gevolg van zeespiegelstijging en klimaatverandering wanneer een soort negatieve gevolgen ondervindt van bijvoorbeeld zeespiegelstijging. Hierdoor neemt de populatie af en zal er een niche ontstaan. Als gevolg hiervan treedt concurrentie op waarbij een andere soort, of meerdere soorten, de overhand nemen en deze niche (gat) invullen. Dit leidt tot complexe veranderingen in het voedselweb aangezien de rol van de ene soort wordt vervangen door de rol van de andere soort. Er zijn bepaalde soorten die als enige een bepaalde rol vervullen waardoor een afname van de populatie grotere gevolgen kan hebben dan voor soorten die 'vervangbare rollen' hebben. De waddenpier die de Waddenzee omspit is een voorbeeld van een soort die een onvervangbare rol vervult. Er zijn ook soorten die een grote invloed hebben op de werking van het Waddensysteem. Een voorbeeld hiervan zijn de overwinterende ganzen die het kweldergras kort houden door te foerageren op de kwelder en zo de groei van de kwelder beïnvloeden. Verandering van de samenstelling van deze soorten als gevolg van zeespiegelstijging en klimaatverandering kunnen dan ook grote gevolgen hebben op de werking van het systeem (Katja Philippart, 2024).

Zeespiegelstijging brengt grote gevolgen met zich mee voor de Waddenzee wanneer de huidige broed-, rust- en hoogwatervluchtplaatsen voor vogels afnemen als de Waddenzee verdrinkt. Als de Waddenzee droogvalt neemt het aanbod van voedsel af voor vogelsoorten die schelpdieren uit de Waddenzee halen. Andere soorten, zoals vissen en soorten die vissen eten, zullen profiteren van de zeespiegelstijging. De snelle stijging van de lucht- en watertemperatuur leiden ertoe dat soorten die hier niet bestendig tegen zijn, zoals de kokkel, zullen verdwijnen. Ook temperatuurgevoelige vissoorten, zoals de puitaal, zullen hierdoor afnemen waar andere soorten die gedijen bij hogere temperaturen zullen toenemen. Op de lange termijn kunnen stijgende temperaturen ertoe leiden dat er meer verdamping van water plaatsvindt in de Waddenzee waardoor het zoutgehalte van het zeewater zal stijgen; dit is mede afhankelijk van de toevoer van zoetwater vanaf het vaste land. Ook de verhoogde zoutconcentraties kunnen veranderingen teweegbrengen in soortenpopulaties die hier gevoelig voor zijn, zoals bijvoorbeeld zeegras, en het 'nieuwe' ecosysteem dat hierdoor ontstaat. Het volstaat dus niet om te zeggen dat het areaal voor alle soorten afneemt door zeespiegelstijging. Wel zal het Waddengebied, zoals het nu op waarde wordt gesteld, veranderen (Katja Philippart, 2024).

Schiermonnikoog

In het duinboogcomplex zullen vochtige habitattypen, zoals vochtige duinvalleien, problemen ondervinden door langere perioden van droogte in de zomer. Omslagpunten verschillen hier voor de verschillende vegetatie en de verschillende grondwaterstanden die deze nodig hebben. Wanneer de zeespiegel stijgt zal er op bepaalde plekken in de duinen meer zoete kwel optreden. Het samenspel van droogte en zoete kwel in de duinen maakt het lastig om de gevolgen voor de natuur te bepalen. Wanneer er meer vegetatie zal groeien zal er minder verstuing plaatsvinden doordat het zand wordt vastgehouden. Waar vegetatie verdwijnt zal meer verstuing optreden wat leidt tot meer dynamiek in de duinen. Op enkele plekken zal door zeespiegelstijging verzilting optreden van habitattypen die nu een zoet milieu kennen. Als het zilte water de wortels van de huidige vegetatie raakt zal bepaalde vegetatie dit niet aankunnen waar anderen dit wel doen (Katja Philippart, 2024).

De kwelders die een groot deel van het (voormalige) washovercomplex en de eilandstaart beslaan kunnen voorlopig nog meegroeien met de huidige snelheid van zeespiegelstijging. De kwelders kennen een zilt milieu waardoor een hoger zoutgehalte in de bodem als gevolg van verzilting weinig effect zal hebben op



de vegetatie. De verwachting is dat wanneer de snelheid van zeespiegelstijging oploopt tot meer dan 100 mm per eeuw, de kwelders niet meer mee kunnen groeien en uiteindelijk zullen verdrinken (Deltares, 2018).

Bijlage B: Knelpuntenlijst

Nummer	Knelpunt	Beschrijving	Meter ZSS
A	De intergetijde gebieden en wadplaten verdrinken	Doordat de snelheid van de zeespiegelstijging toeneemt kan de kwelder niet meer meegroeien met deze zeespiegel. Bij een extreme zeespiegelstijging kan de zeespiegel 194 cm boven NAP stijgen tot 2100. Zowel de begraasde als niet-begraasde kwelderdelen kunnen de zeespiegelstijging niet meer bijhouden en er vindt regressie plaats van hoge kwelder naar lage kweldervegetatie (Elschot, 2023). De mate waarin een kwelder kan groeien hangt af van de snelheid van zeespiegelstijging. Verkennende berekeningen van Deltares (2018) laten zien dat wanneer de snelheid van zeespiegelstijging meer is dan 10 mm/ jaar de kwelders en wadplaten niet meer mee kunnen groeien en dus verdrinken. De huidige klimaatscenario's van het KNMI (2023) zijn voor elk scenario vergeleken en is bepaald wanneer een zeespiegelstijging van 10 mm/jaar overschreden wordt, en dus de kwelders verdrinken.	0,3-0,55 m
B	Veerdam staat te vaak onder water, bereikbaarheid komt in het geding	Momenteel staat de Veerdam een aantal keer per jaar onder water. Bij 0.5 meter zeespiegelstijging komt de veerdam te vaak onder water te staan waardoor deze niet meer bruikbaar is en de bereikbaarheid van het eiland in het geding komt.	0.5 meter
C	Drinkwaterontrekking niet meer mogelijk	Droogte zorgt voor een geringe infiltratie van neerslag in de ondergrond en zeespiegelstijging leidt tot kwel waardoor de zoetwaterlens krimpt. Om zoetwater te onttrekken voor de drinkwatervoorziening dient de zoetwaterlens genoeg volume te hebben. De verwachting van Vitens is dat de omvang van de zoetwaterlens in	0.5-1 meter* (o.b.v. 2100)

		2100 onvoldoende is om het eiland te voorzien van drinkwater.	
D	Wateroverlast in de polder te groot voor de huidige vorm van landbouw	Door zeespiegelstijging zal het spuivenster van de uitlaatduiker in de dijk te klein worden om de polder voldoende droog te houden in natte perioden. Hierdoor kan waterschade ontstaan aan de landbouw.	+0,5-+1,0 meter
I	Verziltig van de polder maakt de huidige vorm van landbouw onhoudbaar	Bij 1.25 meter zeespiegelstijging is de huidige vorm van landbouw in de polder niet meer mogelijk door een te hoge verziltig van het grondwater. De zoutvracht zal bij 1 meter zeespiegelstijging in grote delen van de polder al meer dan 10.000 kg/ha bedragen.	1.25 meter
N	Reguliere dijkversterkingen niet meer mogelijk	Het verbreden en ophogen van de dijk op het eiland zal op gegeven moment onhoudbaar zijn. Vanuit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is gebleken dat Nederland op reguliere wijze versterkt kan worden tot 3 á 5 meter zeespiegelstijging (KPZSS, 2024). Een eiland is gevoelig voor zeespiegelstijging door de geringe beschikbaarheid van ruimte. Om deze reden is 3 meter aangehouden als knikpunt voor de reguliere wijze van het versterken van de dijk.	3 meter
E	Droge perioden maken de huidige vorm van landbouw onhoudbaar	Droge perioden kunnen tot schade aan de weilanden in de polder leiden waardoor het niet meer rendabel zal zijn om de huidige vorm van landbouw voort te zetten.	
F	Wateroverlast in het dorp	In natte perioden zal er wateroverlast in het dorp ontstaan waarbij er kans is op schade door bijvoorbeeld het onderlopen van kelders.	1 meter
G	Droge zomers leiden tot significant verlies van natuurwaarden	Droge zomers zullen leiden tot het significante verlies van natuurwaarden doordat verschillende habitattypen, die gevoelig zijn voor droogte, zullen verdwijnen op het eiland.	1 meter

H	Trage zoetwater aanvoer vanuit de duinen naar de polder valt weg	De trage zoetwater aanvoer vanuit de duinen naar de polder zal wegvallen wanneer de zoetwaterlens krimpt en droogte toeneemt. Het verdwijnen van deze kwelstroom heeft negatieve gevolgen voor de landbouw en de natuur die hiervan afhankelijk is.	1 meter
J	Sediment tekort	De huidige verwachtingen zijn dat er een sediment tekort zal ontstaan op de lange termijn. Dit leidt ertoe dat er onvoldoende sediment aangevoerd kan worden voor de natuurlijke groei van het eiland. Doordat het geomorfologische systeem non-lineaire veranderingen ondergaat is het lastig te voorspellen wanneer dit knelpunt zich voordoet.	2 meter
K	Zeespiegelstijging te snel voor stimuleren kweldergroei	De zeespiegelstijging zal op de lange termijn zo snel verlopen dat het stimuleren van kweldergroei niet meer effectief zal zijn. Ondanks maatregelen zullen de kwelders verdrinken.	2 meter
L	Negatieve effecten op natuurwaarden buiten proportie	Wanneer de maatregel meer baggeren in hoge frequentie uitgevoerd moet worden om de bereikbaarheid van het eiland te garanderen zal dit significant negatieve effecten hebben op de natuur rondom de vaargeulen.	2 meter
M	Basis kustlijn erodeert	Door erosie van de kustlijn aan de noordzijde van het eiland zal de basiskustlijn na verloop van tijd afnemen in volume. Doordat het geomorfologische systeem non-lineaire veranderingen ondergaat is het lastig te voorspellen wanneer dit knelpunt zich voordoet.	2 meter

Bijlage C: Maatregelenlijst

Nummer	Maatregel	Doel	Bouwstenen en beschrijving
2	Meer baggeren	Overig	Huidige baggerwerkzaamheden vaker uitvoeren Door zeespiegelstijging komt er waarschijnlijk meer sediment terecht in de vaargeulen. Deze zullen vaker dichtslibben waardoor het nodig is om vaker te baggeren. <i>Technische inpassing:</i> Naar verwachting zal de vaargeul naar het eiland vaker gebaggerd moeten worden om de veerdam bereikbaar te houden. De toename van baggerwerkzaamheden moet nader worden onderzocht.
3	Ophogen veerdam	Overig	Kunstmatig ophogen veerdam Door het getij en zeespiegelstijging dreigt de veerdam vaker onder water te staan, waardoor deze niet bereikbaar is. Door de veerdam op te hogen blijft de veerdam bereikbaar en kan er worden voorgesorteerd op aankomende zeespiegelstijging. <i>Technische inpassing:</i> Veerdam kunstmatig ophogen indien ZSS met 0,5m stijgt, stapsgewijs. Huidig: Hoogte kade NAP+2,35m (ca. 5x per jaar)
4	Alternatieve bereikbaarheid	Overig	- Alternatieve vorm van transport - Acceptatie verminderde bereikbaarheid eiland Door andere boten te gebruiken of verminderde bereikbaarheid te accepteren wordt er aangepast aan de zeespiegelstijging. <i>Technische inpassing:</i> Door anders om te gaan met de bereikbaarheid van het eiland hoeft er geen fysieke ingreep gedaan te worden. Maatregel wordt gedreven door toenemende interval het niet toegankelijk zijn van de veerdam.
5	Stimuleren kweldergroei	Zoetwater/waterveiligheid	- Rijshouten dammen - Harde elementen aanbrengen (kleine dammen) Het stimuleren of bevorderen van neerdalen van sediment op de kwelders. Belangrijke eis is dat de kwelders meegroeien met de zeespiegelstijging. <i>Technische inpassing:</i> De verwachte kweldergroei wordt geschat op ca. 2 tot 5 mm per jaar (Svasek, 2023, p. 31).

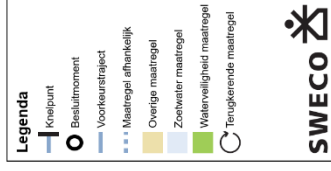
6	Verbreden dijkfundament	Zoetwater/ waterveiligheid	· Brede groene dijk · Dijk met voorland Door het verbreden en versterken van het fundament van de dijk wordt de waterveiligheid gegarandeerd. Het biedt een basis waarop gebouwd kan worden bij opvolgende dijkversterkingen. Ook gaat het verzilting tegen door het vergroten van de afstand tussen de polder en het wad. <i>Technische inpassing:</i> Verlenging van reguliere wijze van dijkversterkingen.
7	Stimuleren aangroei duinen	Zoetwater/ waterveiligheid	· Afplaggen · Begrazing · Kerven aanbrengen Door het stimuleren van natuurlijke aangroei van de duinen worden de duinen op lage plekken hoger en breder waardoor de kering wordt versterkt en meer water kan worden vastgehouden in de zoetwaterlens onder de duinen. <i>Technische inpassing:</i> Het is mogelijk om gefaseerd te werken in periodes van bijvoorbeeld 25 jaar waarbij de benodigde hoeveelheid sediment wordt bepaald.
8	Aanvullen volume duinen (kunstmatig)	Zoetwater/ waterveiligheid	· Kunstmatig sediment aanvullen Door het kunstmatig aanvullen van zand op de duinen worden de duinen hoger en breder waardoor de kering wordt versterkt en meer water kan worden vastgehouden in de zoetwaterlens onder de duinen. <i>Technische inpassing:</i> Het is mogelijk om gefaseerd te werken in periodes van bijvoorbeeld 25 jaar waarbij de benodigde hoeveelheid sediment wordt bepaald.
9	Washover stuifdijk	Zoetwater/ waterveiligheid	· Washover stuifdijk Door het aanleggen van een washover wordt zandtransport op gang gebracht in het voormalige washovercomplex. Deze kan hierdoor meegroeien met de zeespiegelstijging. <i>Technische inpassing:</i> Het is mogelijk om gefaseerd te werken in periodes van bijvoorbeeld 25 jaar waarbij de benodigde hoeveelheid sediment wordt bepaald.
15	Gemaal	Zoetwater/ overig	· Gemaal in de dijk Door zeespiegelstijging wordt het moment waarop vrij gespuid kan worden kleiner. Om wateroverlast te voorkomen kan een gemaal aangelegd worden om zo de afvoer van water te garanderen en eventuele schade te voorkomen. <i>Technische inpassing:</i> Gemaal met benodigde capaciteit. Eventueel in relatie tot zeespiegelstijging, capaciteit gradueel verhogen.

11	Ontziltingsinstallatie	Zoetwater	Door het plaatsen van een ontziltingsinstallatie wordt het eiland voorzien van drinkwater wanneer er geen drinkwaterontrekking vanuit de zoetwaterlens meer mogelijk is. <i>Technische inpassing:</i> De installatie levert zoetwater voor de zoetwatervraag.
14	Water vasthouden in de polder	Zoetwater/ overig	· Zoetwateropslag (diepe drainage) · Compartimentering in de polder (verhogen waterpeil) Door het water langer vast te houden in de polder wordt een grotere zoetwaterbuffer gecreëerd. Dit kan door het aanleggen van zoetwateropslag of het compartimenteren van de polder waarbij een hoger waterpeil wordt opgezet. <i>Technische inpassing:</i> Afhankelijk van spuicapaciteit kan het waterpeil in de polder verhoogt worden of diepe drainage worden aangelegd.
12	Alternatief Toerisme	Zoetwater/ overig	· Toerisme anders inrichten (dagtoerisme) Door het toerisme anders in te richten op het eiland, kan de vraag naar zoetwater verlaagd worden. Dit kan gekoppeld worden aan het anders inrichten van de bereikbaarheid van het eiland en/of de vraag naar transportmogelijkheden. <i>Technische inpassing:</i> Door de zoetwatervraag van de toeristische sector te reduceren wordt er minder beslag gelegd op de zoetwaterbeschikbaarheid.
10	Aanvullen sediment	Zoetwater / waterveiligheid	· Zandsuppletie · Aanvullen baggerslib · Zandmotor Door het aanvullen van sediment op wordt de contour van het eiland behouden en waar mogelijk vergroot. Zo wordt de waterveiligheid gegarandeerd en het volume van de zoetwaterlens behouden of vergroot. <i>Technische inpassing:</i> Het is mogelijk om gefaseerd te werken in periodes van bijvoorbeeld 25 jaar waarbij de benodigde hoeveelheid sediment wordt bepaald.
16	Alternatieve landbouw	Zoetwater/ overig	· Andere vorm van de landbouw Verzilting is een groeiend probleem voor de landbouw. Schiermonnikoog ligt relatief hoger dan het vaste land waardoor verzilting pas later een knelpunt vormt. Een alternatieve vorm van landbouw kan een oplossing zijn voor de verziltingsproblematiek wanneer deze vorm rendabel is voor de boeren op het eiland. <i>Technische inpassing:</i> Door een andere vorm van landbouw toe te passen wordt de verziltingsproblematiek gemitigeerd en is de landbouw toekomstbestendig.

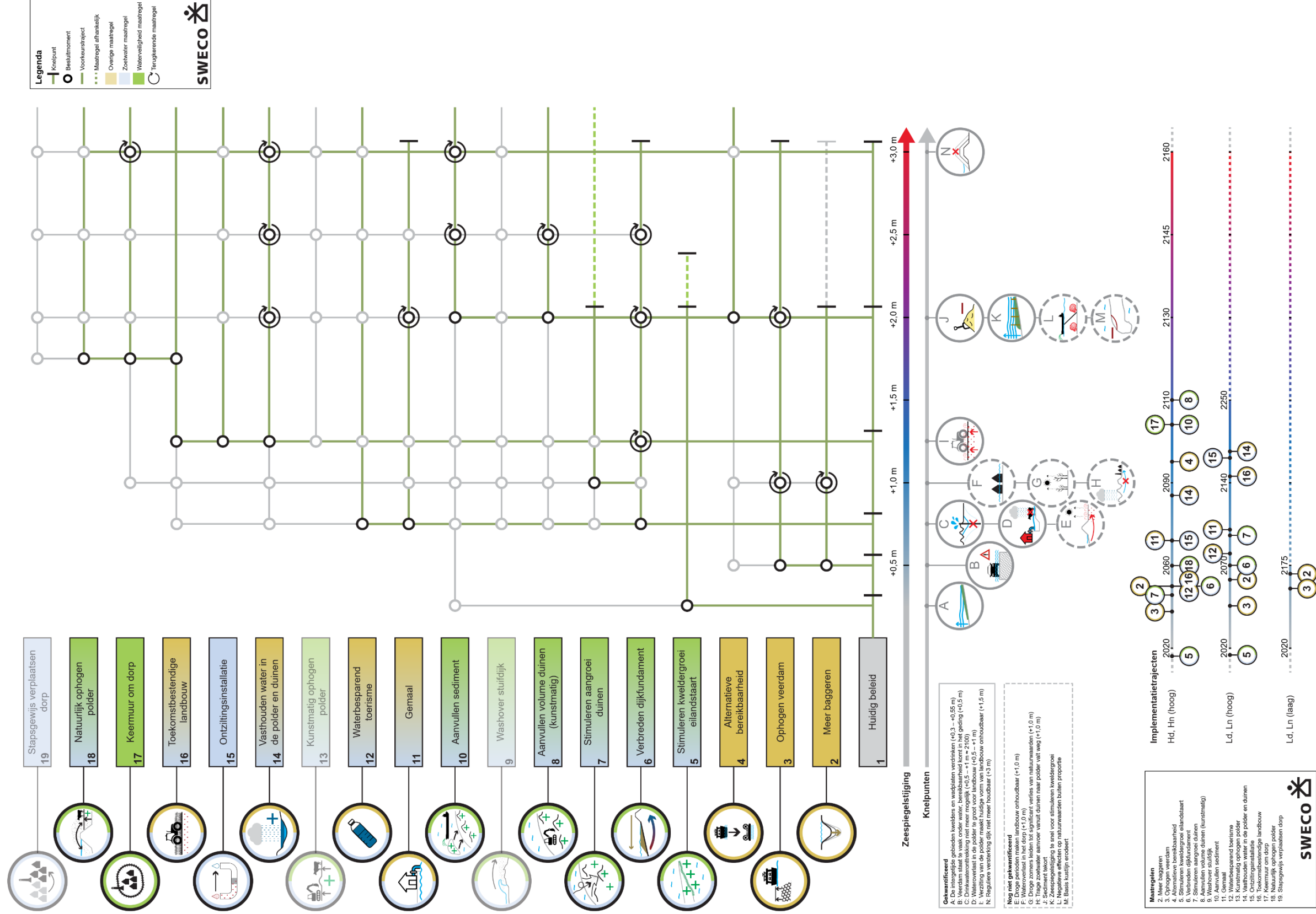
17	Keermuur om dorp	Waterveiligheid	· Lokale kering om het dorp De waterveiligheid gewaarborgd door een keermuur om het dorp te plaatsen. Deze maatregel is gekoppeld aan het doorsteken van de dijk/ophogen van de polder aangezien de keermuur eerst moet worden aangelegd voordat de dijk wordt doorgestoken. <i>Technische inpassing:</i> De hoogte en de omvang van de kering moet nader bepaald worden.
18	Natuurlijk ophogen polder	Zoetwater / waterveiligheid	· Doorsteken dijk/natuurlijk ophogen · Wisselpolders en om de beurt ophogen Door de dijk door te steken wordt door het getij sediment in de achterliggende polder afgezet. Zo wordt de polder over tijd opgehoogd. Op de lange termijn draagt het bij aan het behoud van de zoetwaterlens en de waterveiligheid. Wanneer de dijk wordt doorgestoken dient de waterveiligheid van het dorp gewaarborgd te zijn. <i>Technische inpassing:</i> Door de zee toe te laten in de polder kan hier sediment aanspoelen waardoor de polder over tijd opgehoogd wordt.
13	Kunstmatig ophogen polder	Zoetwater / waterveiligheid	· Kunstmatig ophogen Door de polder kunstmatig op te hogen kan het eiland met de zeespiegelstijging mee stijgen. <i>Technische inpassing:</i> Door mechanisch sediment de polder in te pompen wordt de polder opgehoogd.
19	Dorp verplaatsen	Zoetwater/ waterveiligheid	- Ruimte voor groei van de duinen creëren door het dorp te verplaatsen Door het dorp te verplaatsen wordt ruimte voor de duinen gecreëerd, hierdoor wordt een grotere zoetwaterbuffer gerealiseerd en blijft het dorp op het hoogte punt van het eiland liggen waardoor de waterveiligheid wordt geborgd. <i>Technische inpassing:</i> Door het dorp te verplaatsen of anders te bouwen wordt er ruimte voor de duinen gecreëerd om te groeien (zoetwaterlens) en kan een hoger gelegen gebied (bouwen op terpen) in gebruik genomen worden.

Bijlage D: Adaptatiepadenkaarten

Strategie | Vasthouden aan het eiland



Strategie | Aanpassen van het eiland





Bijlage E: Doorlooptijden

Om tot implementatiepaden te komen zijn per maatregel doorlooptijden benaderd. Deze doorlooptijden zijn bepaald op basis van expert-judgement. De benodigde informatie is opgehaald tijdens interne werksessies met het projectteam van de pilot adaptief werken en in de tweede ontwerpessie op het eiland. Verder zijn deze tijden geverifieerd in afstemming met diverse experts tijdens de tweede expertsessie.

Er zijn verschillende factoren waar rekening mee is gehouden bij het bepalen van de doorlooptijd van een maatregel. De transformatietijd is de benodigde tijd om een verandering op gang te brengen, zoals bijvoorbeeld een benodigde gedragsverandering. De implementatietijd is de benodigde tijd voor de planvorming waarbij de maatregel geïnitieerd, verkend en uitgewerkt wordt en de (juridische) procedures doorlopen worden. De realisatietijd omvat de periode waarin de maatregel fysiek wordt gerealiseerd totdat de maatregel zijn gewenste effect heeft bereikt. De transformatie-, implementatie-, en realisatietijden worden beïnvloed door de mate van synergie of afhankelijkheid tussen andere maatregelen en opgaven. Een significante synergie kan ertoe leiden dat de doorlooptijd wordt ingekort. Daarnaast zijn er randvoorwaarden die de doorlooptijd van een maatregel kunnen verlengen omdat hier eerst aan voldaan moet worden.

Maatregel	Transformatietijd	Implementatietijd	Realisatietijd	Synergie/afhankelijkheid	Randvoorwaarden	Totale tijdsduur
Meer baggeren	0	5	5	0	0	10 jaar
Ophogen veerdam	5	5-10	5	-5	0	10-20 jaar
Alternatieve bereikbaarheid	0	10-15	20	0	0	30-35 jaar
Stimuleren kweldergroei	5	5-10	10-20	0	0	20-30 jaar
Verbreden dijkfundament	5	5-10	5	0	0	15-25 jaar
Stimuleren aangroei duinen	0	5-10	30-40	-10	+5	20-45 jaar
Aanvullen volume duinen (kunstmatig)	0	5-10	5-10	0	0	10-20 jaar
Washover stuifdijk	5-15	5	50-60	0	0	60-80 jaar
Aanvullen sediment	0	5-10	5	0	+10	20-25 jaar
Gemaal	5	5	0	-5	0	5 jaar
Waterbesparend toerisme	5	5	10-15	0	0	20-25 jaar
Kunstmatig ophogen	0	10	10-20	0	0	20-30 jaar

Vasthouden water in de polder en duinen	0	5-10	5-10	-5	0	5- <u>15</u> jaar
Ontziltingsinstallatie	10-20	5-10	0	0	0	15- <u>30</u> jaar
Toekomstbestendige landbouw	20-30	5	15	0	0	40- <u>50</u> jaar
Keermuur om dorp	5	5	5	0	0	15 jaar
Natuurlijk ophogen polder	10	5	30-50	-5	0	40- <u>60</u> jaar
Stapsgewijs ophogen polder	20	10	50	0	0	80 jaar