



Utrecht University



Hoogheemraadschap van
Rijnland

Identifying opportunities for active dynamic
foredune management under future
developments along the Dutch coast
*a case study of a future weak link of the Holland
coast near Zandvoort*

by
Sanne Wesseling



MSc Thesis

A master thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in
Water Science and Management in the Faculty of Geosciences at Utrecht University.

Contact:	sanne.wesseling@outlook.com
Supervisor:	Gerben Ruessink
Internship location:	Hoogheemraadschap van Rijnland
Internship supervisor:	Joost Veer

Summary

Coastal protection in the Netherlands is essential. Since 1990, the policy called dynamic preservation has been in effect. This policy has paved the way for both a proactive approach to combat coastal erosion, by means of a baseline that is to be maintained by sand nourishment, and the explicit possibility to stimulate natural dynamics. The underlying idea is to have a sustainable coastal system that grows with sea-level rise (i.e., is safe) and a more integrated approach that also includes direct benefits to ecology and economy. Although the mitigation of structural erosion has been successful, natural dynamics, particularly in the dunes, remained restricted. This led to the initiation of active dynamic foredune management, which encompasses taking erosive measures in the foredune to enhance sand drift inland.

Active dynamic foredune management has been proposed from an ecological perspective in sections 6775 to 7025, which are part of the Holland coast. The water authority responsible, the Hoogheemraadschap van Rijnland, has special interest in the consequences this might have for safety of the sections under future uncertainties (e.g., climate change and infrastructure). Especially, in sections 6800 to 6875, as dune width is limited here. Therefore, through this study, it was aimed to assess the effect of beach-dune development, when met with active dynamic foredune management and future uncertainties, on safety and several other interest in sections 6775 to 7025.

The measures to be taken, the influencing factors and accompanied uncertainties, and the interests in the study area were explored through a literature survey and three interviews. This resulted in the formation of 8 scenarios that mimic morphological beach-dune development based on the size and further evolution of foredune notches and the rate of sea level rise. With MorphAn, the scenarios were translated into sequences of cross-shore profiles until the year 2093 of the most vulnerable section (6850) in the study area. These profiles were assessed in terms of dune safety with the DUROS+ module embedded in MorphAn and also used to assess the effect on habitat development and the local infrastructure (e.g., cycling track and gas pipe).

Results show that safety (with 1:30000 as the maximum allowable chance of flooding) is ensured in all scenarios. The development of large-scale dynamics, that is, with notches that facilitate direct aeolian transport from the beach into the inner dunes, results in a lower erosion volume during major storms (1:30000) than small-scale notching, in which such a sand influx is not present. However, large-scale dynamics cause a potentially undesirable conversion of grey to white dune habitats, while it may also jeopardize the future of the cycling track and gas pipe, because of excessive sand deposition. These results are, however, dependent on the assumptions made around notch development and nourishment in this study.

Acknowledgments

The completion of this master thesis could not have been possible without the advice and assistance I got from several people in the field. Therefore, a word of acknowledgement would be appropriate. First and foremost, I would like to thank my supervisors, Gerben Ruessink and Joost Veer, for their guidance and feedback throughout the whole period. Then I wish to thank Petra Damsma, Maaïke Veer and Bas Arens for making time to answer my interview questions. Also, I would like to thank Stefan Plus, Harrie van der Hagen, Marjolijn Haasnoot, Dewi Le Bars and Mark van Till for further providing me with data and advice. Finally, I would like to express my gratitude to my colleagues at the department of water safety at the Hoogheemraadschap van Rijnland. Even though circumstances forced me to work from home, the time I spent at the department was very pleasant and an experience that has contributed to my personal growth.

Contents

1. Introduction	1
1.1. Coastal management: from hard to soft, reactive to proactive and fragmented to integrated	1
1.2. Dynamic foredune management: from passive to active.....	2
1.3. Problem description.....	4
1.4. Research aim and relevance	7
1.5. Research questions and framework	8
2. Literature review	9
2.1. Coastal dune development.....	9
2.1.1. Climate change	9
2.1.2. Management practices	10
2.2. Active dynamic foredune management: Notches	12
2.3. Other interests.....	14
2.3.1. Man-made structures	14
2.3.2. Nature conservation.....	16
2.4. Chapter summary.....	16
3. Methodology	18
3.1. Reading guide.....	18
3.2. Morphan	18
3.3. Scenario formation and assumptions.....	20
3.4. Scenario data collection.....	23
3.4.1. Sea-level rise	23
3.4.2. Foreshore, beach and dune accretion.....	24
3.4.3. Notch erosion and deposition	26
3.4.4. Sand transport through the notch.....	29
3.5. Assessment input.....	30
3.6. Assessment of interests.....	32
3.6.1. Safety.....	32
3.6.2. Ecology and infrastructure.....	32
4. Results	34
4.1. Safety.....	34
4.2. Ecology.....	36
4.3. Infrastructure	37
5. Discussion	38
5.1. Results	38

5.2. Uncertainties.....	39
6. Conclusion.....	40
7. References	41
Appendix	45

List of Figures

Figure 1. Overview of the characteristics of the Dutch coast and the areas for which the reference baseline policy is active.	1
Figure 2. Categorization of the Dutch coast into the type of dynamics of the foredune as observed in 2017.	3
Figure 3. Categorization of part of the Holland coast into the type of dynamics of the foredune in 2017.	4
Figure 4. Graph that represents excess space available as compared to the safety standard (at 0) from North (left) to South (right) along the sections of the coast managed by Rijnland.	5
Figure 5. Contour maps of A) the sections of interest in 2019 and B) the sections part of project Noordvoort in 2013.	7
Figure 6. The cross-shore exchange of sand between the foreshore, beach and dunes represented by a closed system.	9
Figure 7. Overview of the locations along the coastal profile where activities can be controlled to regulate the supply of sand inland.	10
Figure 8. A) Schematic overview of a saucer and trough blowout. B) Overview of a trough blowout along the Holland coast, in which several characteristics have been denominated.	13
Figure 9. Overview of man-made structures in the study area.	15
Figure 10. Habitatmap of the southern part of Kennemerland_zuid.	17
Figure 11. The Duros+ model.	19
Figure 12. An example of the output of the dune safety model that is part of MorphAn.	20
Figure 13. The four notch development scenarios created by using the two biggest uncertainties around notch development as axes following the 2x2 matrix technique for scenario building.	21
Figure 14. An overview of all scenarios simulated within MorphAn.	21
Figure 15. Graph that shows the rate of sea-level rise until 2100 of the two 95 percentile sea-level rise scenarios used in this study.	24
Figure 16. An example of the output of the volume model for the cross-shore profile of section 6850 in 2019 obtained through MorphAn.	25
Figure 17. The patterns of dune growth over a period of 10 years, ranging from 2009 to 2019, for section 6800, 6850 and 6900.	26
Figure 18. Overview of the selected notches of project Noorvoort with A) the location and orientation of the drawn profiles and B) the cross sections of the profiles.	27
Figure 19. Overview of the selected notches of the NN project with A) the location and orientation of the drawn profiles and B) the cross sections of the profiles.	28
Figure 20. Scenarios for morphological development of section 6850 under sea-level rise scenario A up until 2093.	31
Figure 21. Scenarios for morphological development of section 6850 under sea-level rise scenario B up until 2093.	31
Figure 22. Clipped habitat map that shows the location of the three different types of habitats within the vicinity of section 6850, adapted to show section 6850 and the distance in RSP.	33
Figure 23. The output of the dune safety model for the profiles made in 2073 of A) scenario 3 and B) scenario 4.	35

List of Tables

Table 1. Possibly allowable dynamic forms in the dunes per situation primarily based on the amount of sand available. 6

Table 2. The controllable factors of coastal zone management on the amount of sand that reaches the dunes.. 11

Table 3. The controllable factors of foredune management on the amount of sand that reaches the inner dunes.12

Table 4. The assumptions made within the scenarios accompanied by their substantiation. 22

Table 5. Overview of the timing of performed nourishments, inputs for the volume development model and the found trends for section 6800 to 7000 over a period of 10 years..... 25

Table 6. Data on the onset and development of notch 5, 9 and 11 of project Noordvoort obtained from cross sections.....29

Table 7. Data on the length, depth and deposition of notch 4 and 5 of the NN project in 2019 obtained from cross sections.....29

Table 8. The specific hydraulic conditions for section 6850 used to run the dune safety model... 32

Table 9. The erosion volume (A volume) for the A scenarios per time step as calculated with the dune safety model in MorphAn. 34

Table 10. Table 11. The erosion volume (A volume) for the B scenarios per time step as calculated with the dune safety model in MorphAn. 34

Table 12. The amount of sea-level rise and the associated volume of nourishment added to the profiles in the A and B scenarios per time step. 36

Table A 1. The interview methods table. 45

1. Introduction

1.1. Coastal management: from hard to soft, reactive to proactive and fragmented to integrated

Coastal protection in the Netherlands is essential. The country is largely located beneath sea-level, densely populated and erosion is naturally a dominant factor at the coastline due to a limited sediment supply (Stronkhorst et al., 2017; Mulder et al., 2011). Management of the coast, however, was not practiced on a larger scale until a storm event in 1953 called the ‘Watersnoodramp’ occurred, in which 400.000 hectares flooded and many lives were lost. With the goal to never let this happen again, coastal management has been a priority ever since (Rijkswaterstaat & Stowa, 2017).

The Dutch coast can be categorized into three types based on physical characteristics: (1) the open Delta coast, which contains multiple estuaries and tidal basins; (2) the Holland coast, which exists out of continuous dunes; and (3) the Wadden coast, with its islands and tidal dynamics (Rijkswaterstaat, 2011; see Figure 1). After the disaster in 1953, measures taken in these coastal areas were, at first, focused on reaching the established safety levels for a flood defense and achieved through hard coastal engineering (Merkx et al., 2007). Dykes were the main focus, however, due to accompanying disadvantages, management shifted from hard to soft engineering (Merkx et al., 2007).

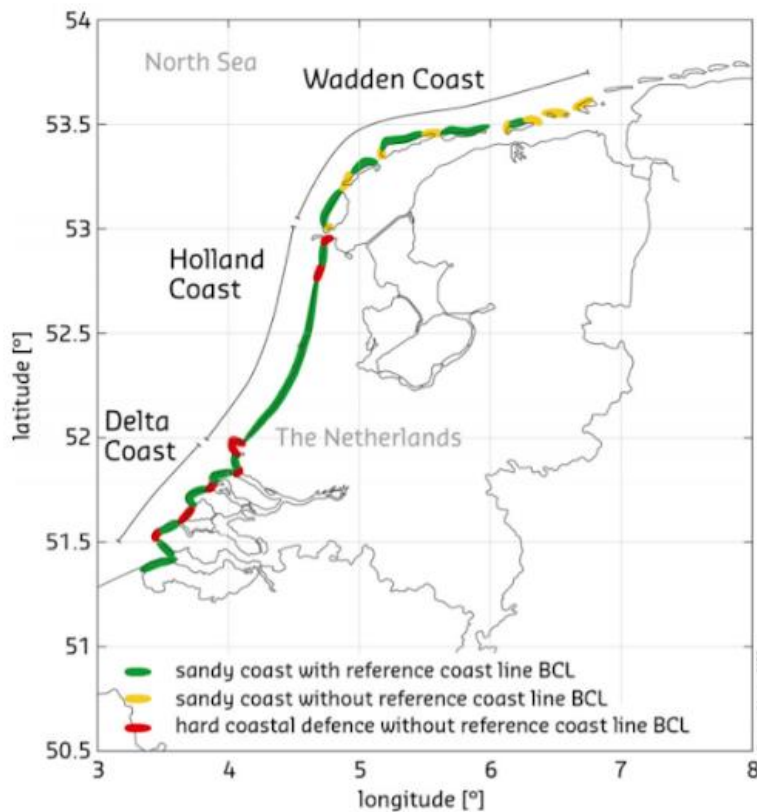


Figure 1. Overview of the characteristics of the Dutch coast and the areas for which the reference baseline policy is active. This Map has been obtained from Mulder et al. (2011)

Nonetheless, the measures were still aimed at reaching safety levels, which meant the dunes were fortified. Small sand nourishments limited to the beach and dunes were introduced to add sand to the system, while marram grass was placed to prevent sand loss (Borsje et al., 2017). However, this caused dynamic processes to be suppressed as mobilisation of the dunes was prevented (Arens et al., 2013). The result was an artificial dune ridge where exchange of sand and thus natural dynamics was very limited (Arens & Wiersma, 1994). The lack of natural dynamics negatively influenced the natural dune habitats by decreasing biodiversity (van Koningsveld et al., 2008). Additionally, even though safety levels were maintained, structural erosion of the coast continued, jeopardizing other coastal functions (e.g., recreation) (van Koningsveld et al., 2008). Therefore, the attention shifted from solely accounting for safety to the preservation of other coastal functions, especially ecology (van Koningsveld et al., 2008; MIN V&W, 1990).

To mitigate the ongoing structural erosion, a new approach to coastal management was needed. An approach that would support the formation of a sustainable coastal system that would be able to grow with the sea (MIN V&W, 1990). This resulted in a new policy, called dynamic preservation, which was adopted by national Dutch law in 1990 (MIN V&W, 1990). The policy marked a shift from a reactive to proactive approach to coastal erosion alongside a transition towards integrated thinking within water management, in which not solely safety is considered, but also ecology and economy (Borsje et al., 2017; van Koningsveld et al., 2008; van Koningsveld & Mulder, 2004).

1.2. Dynamic foredune management: from passive to active

With the implementation of the new policy, a new strategy developed. It was established that soft measures would be taken when possible and hard when needed (Quataert & Mastbergen, 2019). Also, the location of the coast in 1990 would serve as a tool called the basal coastline, which is to be maintained by sand nourishments in order to mitigate structural erosion (Borsje et al., 2017; Rijksoverheid, n.d.a). As a result, the volumes of nourishments increased and foreshore nourishments were introduced (Borsje et al., 2017). In Figure 1, the regions where this tool is used can be observed. The islands and the areas where hard coastal defenses are in place are excluded since basal coastline monitoring is not possible.

On top of this, explicit attention was given to the natural dynamics of the coast, therefore, the coastline would be allowed a certain mobility within specific margins of the established basal coastline, whereas the dunes could be mobile as well (MIN V&W, 1990). When the basal coastline would be structurally exceeded, nourishment would be performed (Quataert & Mastbergen, 2019). The supplied sand would then be distributed through natural processes (e.g., wind, waves and tides), towards the dunes, further stimulating natural dynamics (MIN V&W, 1990). Later it was decided that nourishment would not only be provided to maintain the basal coastline, but also to compensate for the whole coastal foundation ranging from -20m NAP till the end of the inner dunes in order to maintain a sustainable coastal system (Quataert & Mastbergen, 2019). NAP stands for Normaal Amsterdams Waterpeil and is used as a reference for height measurements in the Netherlands.

Mitigation of the structural erosion following this strategy has been successful (van Koningsveld & Mulder, 2004). As a result of the sand nourishments, erosion has been compensated and the coastline overall even expanded seaward. The sediment budget within the dunes has been enhanced as well through natural processes facilitating sand drift (Arens et al., 2013; van Koningsveld & Mulder, 2004). Due to the now regular incoming sand, foredune management is not a necessity anymore and the measures taken in the foredune have been greatly reduced (IJff et al., 2019).

In terms of dune dynamics, 5 types of responses to the strategy were distinguished by Arens et al. (2010), see Figure 2. Of these responses, solely types 4 and 5 (dynamic foredune with limited sand drift and high dynamic foredune with strong sand drift) involve a dynamic foredune and actual sand drift towards the inner dunes. In areas categorized as types 1, 2 and 3, the foredunes have trapped the incoming sand and increased in size and height, which is positive for short-term safety; however, it is debatable to what extent this meets the goal of dynamic preservation (Arens et al., 2010). The supplied sand cannot contribute to sustainable growth of the coastal foundation as a whole, and therefore long-term safety, and does not contribute to the formation of a dynamic landscape within the dunes, and therefore improved biodiversity (de Groen et al., 2019).

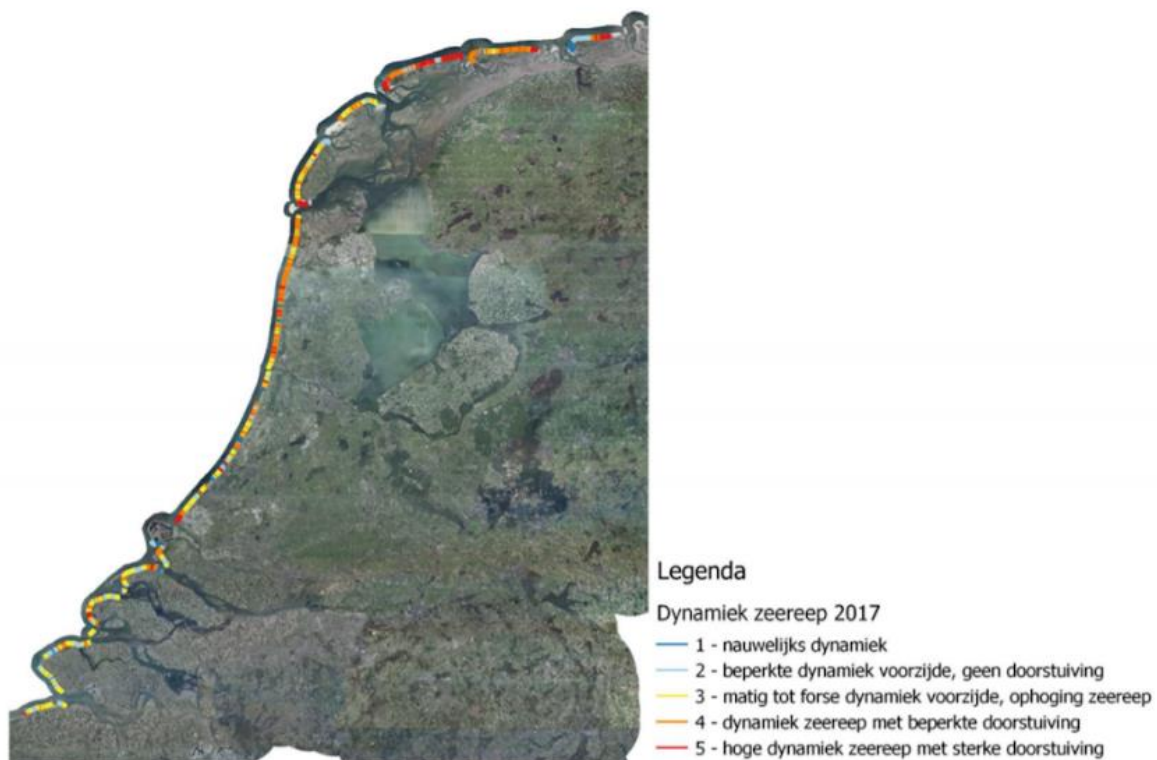


Figure 2. Categorization of the Dutch coast into the type of dynamics of the foredune as observed in 2017. The items in the legend read: 1) barely dynamic, 2) limited dynamics at the front but no sand drift, 3) moderate to strong dynamics at the front with elevation of the foredune, 4) dynamic foredune with limited sand drift and 5) high dynamic foredune with strong sand drift. This image has been obtained from de Groen et al. (2019).

Arens et al. (2013) emphasize the importance of a dynamic foredune in this aspect. It could benefit nature as well as safety, since it widens the transition zone between beach and dunes and increases the inland transport of sand. The remobilization of dunes and enhancement of dynamics can be achieved in two ways: erosion or excessive sand supply (Arens et al., 2013; de Groen et al., 2019). The latter's achievability is labelled to be unrealistic as it is not financially sustainable, but measures can be taken within the foredunes to achieve erosion. This implies a transition from the current passive form of dynamic foredune management to active dynamic foredune management, in which measures in the foredune are taken to artificially enhance dynamics and inland sand drift.

1.3. Problem description

Sharing insights such as those obtained by Arens et al. (2013), nature managers have argued for measures to be taken in the foredunes. One of the areas where active dynamic foredune management is currently recommended from an ecological perspective encompasses sections 6775 to 7025 along the Holland coast (Fig. 3). In Figure 3, the circled area can be partly categorized as type 2 (limited dynamics at the front, no inland sand drift). This fact and the to date success of the foredune dynamization project located directly south of the sections called Noordvoort, have caused the measures to be proposed in this region (Arens, 2019).

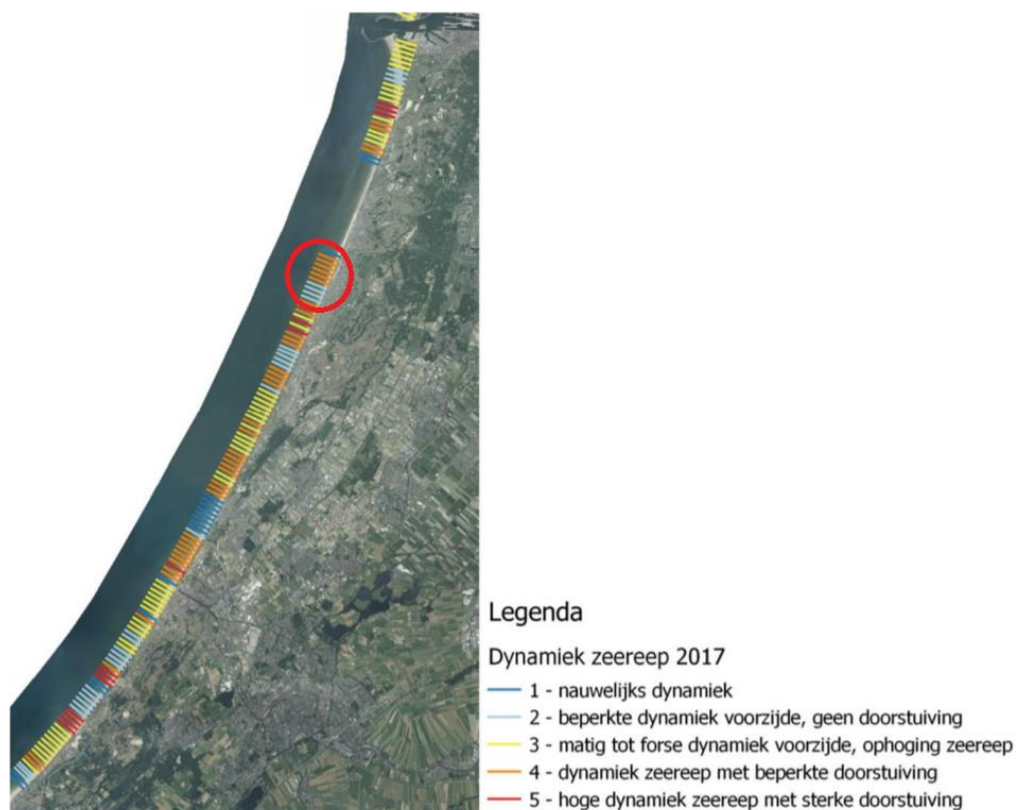


Figure 3. Categorization of part of the Holland coast into the type of dynamics of the foredune in 2017. The legend is the same as that of Figure 2. This image has been obtained from de Groen et al. (2019).

However, sections 6775 to 7025 are under management of the Hoogheemraadschap van Rijnland. In the Netherlands, the water authorities are responsible for management of surface water, which for some of the authorities includes coastal management. Rijnland is, thus, responsible for the regulation of safety in these sections. In the evaluation of the most recent Kustnota, it is stated that all coastal areas under management of Rijnland comply with the safety standards (van Dansik, 2016). In Figure 4, this compliance can be observed, since all sections of the coast display excess space as compared to the standard, which is located at 0 in the figure. Nonetheless, sections 6775 to 7025 are located at the level of “Waternet” in this figure and solely show about 20 meters of excess space as compared to the standard. It has been established that the lack of excess space in these sections is the result of the lack of sand in the area behind the foredunes (van Dansik, 2016). As implied by Arens et al. (2013), reactivation of the foredune can rectify this lack of sand as it enhances inland sand drift, thereby increasing robustness and long-term safety.

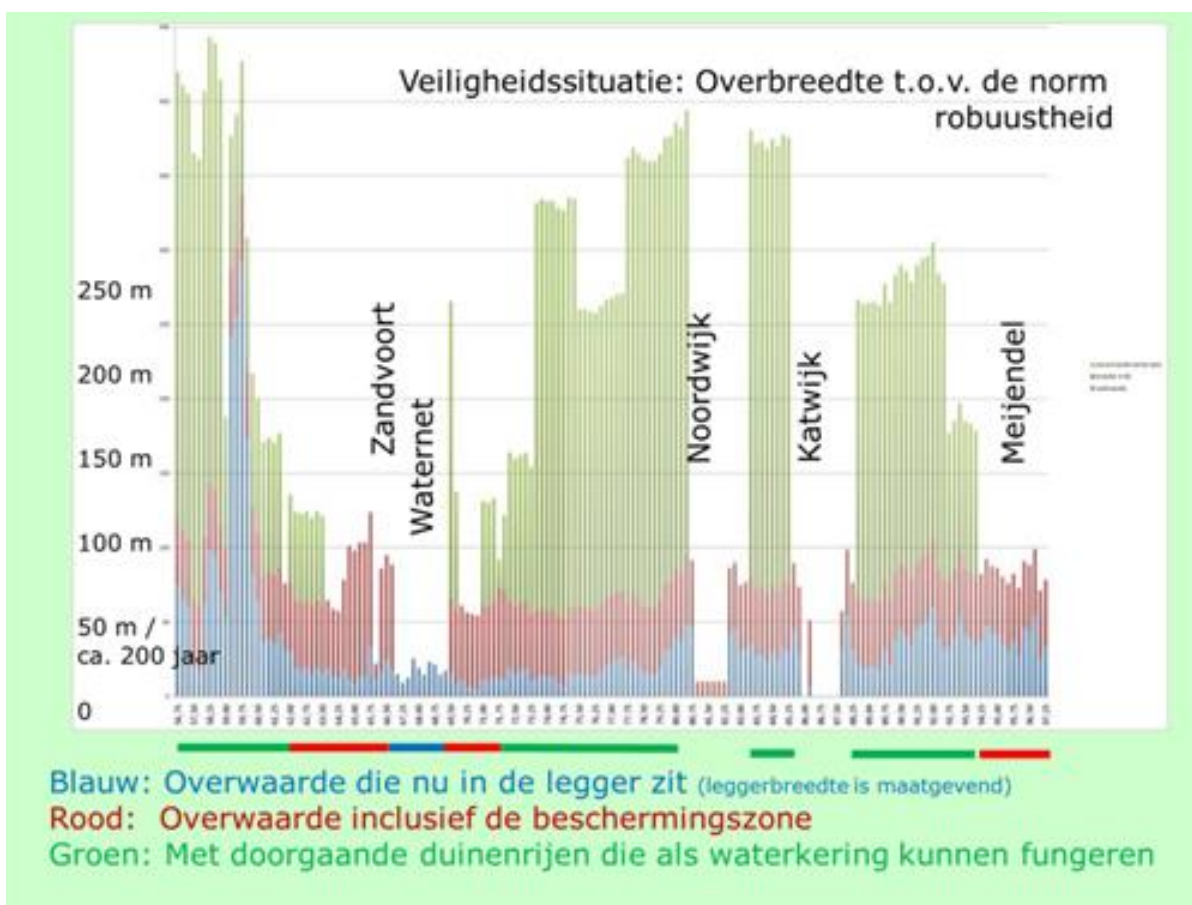


Figure 4. Graph that represents excess space available as compared to the safety standard (at 0) from North (left) to South (right) along the sections of the coast managed by Rijnland. 50 meters is the extra amount of space necessary to comply with the standards 200 years into the future.

However, from a safety perspective it was established that reactivation of the foredune would not be advisable along all areas of the coast (Löffler et al., 2011). Several terms were made under which certain forms of dynamics could be allowed primarily based on the amount of sand available (Table 1). A comparison between the sections of interest and those part of project Noordvoort can be seen in Figure 5. It can be established that besides the lack of sand, the foredune is also significantly smaller. Looking back at Table 1, sections 6775 to 7025 fall within the category: small dune existing of one dune row. This means dynamic measures in the foredune would not be advisable from a safety point of view (e.g., blowouts, notches etc.).

Nevertheless, due to the expected increasing pressures on the coast (e.g. climate change and infrastructure), Rijnland acknowledges the possible need for active dynamic foredune management from a safety perspective as well as it can increase resilience to these pressures (van Dansik, n.d; Hoogheemraadschap van Rijnland, 2020). However, aeolian processes between the shoreface, beach and dunes are poorly understood and therefore responses of the dune area to nourishments and dynamic measures are uncertain (Arens et al., 2013; Groot et al., 2012). On the other hand, scientists indicated in 2018 that sea-level rise could potentially be more rapid after 2050 than accounted for in the Delta Program. This development was assessed to have serious consequences under the current strategies (Haasnoot et al., 2018).

Table 1. Possibly allowable dynamic forms in the dunes per situation primarily based on the amount of sand available.

Sand balance	Starting point	Embryonic dunes	Foredune with blowouts	Foredune with notches	Parabolic dunes	Washover	Tidel inlet
All the present sand is necessary for safety	Coastal areas whether or not with an open connection with the sea	X					
	Small dunes existing of one dune rule	X					
	Dams and dykes in sand	X					
	Connecting structures	X					
More sand present than needed for safety	Small dune area existing out of several dune rules	X	X				
	Dams and dykes in sand	X	X				
Excess sand/boundary profile can be fitted inland	Broad dunes	X	X	X	X	X	X
	Tail of the island	X	X	X		X	X
	Head of the island	X	X	X	X	X	X
	Accretional coasts	X	X	X	X	X	X
	Coastal expansion	X	X	X	X	X	X

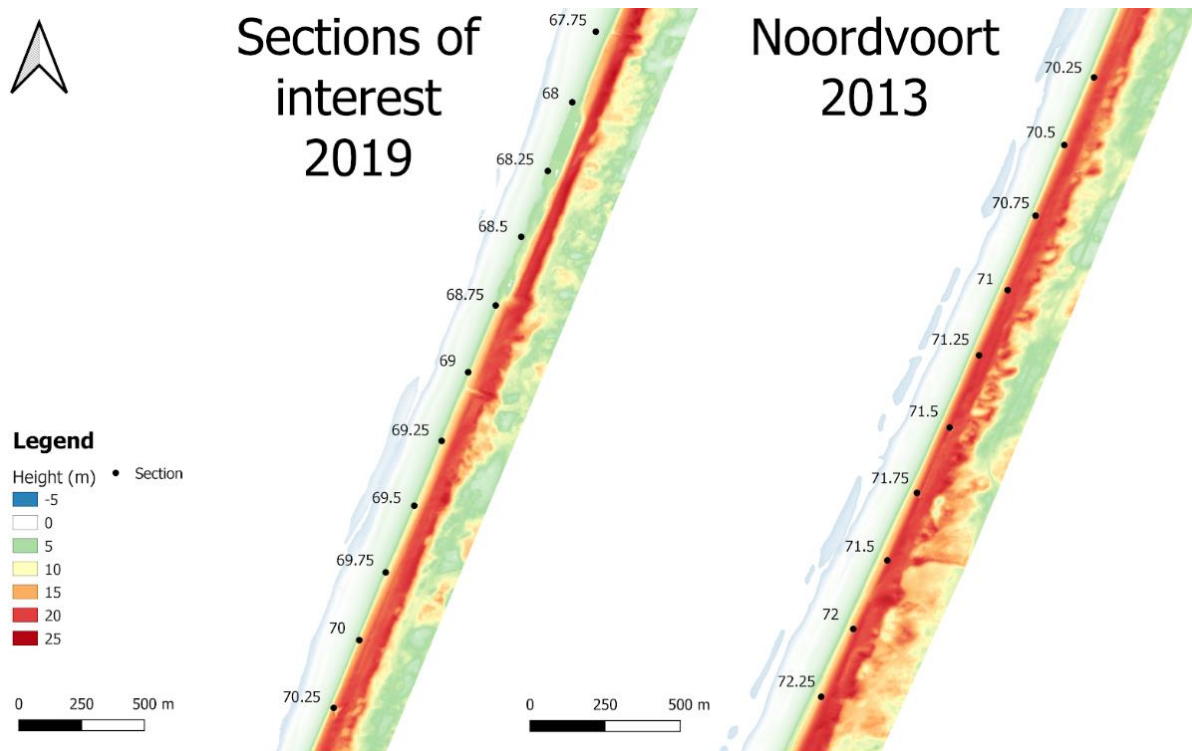


Figure 5. Contour maps of A) the sections of interest in 2019 and B) the sections part of project Noordvoort in 2013. Data from 2013 was used for project Noordvoort, because in this year measures to increase dynamics in the foredune were not yet taken.

1.4. Research aim and relevance

The uncertainty linked to natural processes, which are the basis of dynamic management, combined with the effect of potential future developments (e.g., sea-level rise) emphasize the importance of research on the effectiveness of active dynamic foredune management. The resulting knowledge is essential in order to prevent dune breaches, unwanted consequences (e.g., flooding) and financial costs. Rijnland has special interest in the short (10 years) and long (80 years) -term effectiveness of active dynamic foredune management within sections 6775 to 7025 to enhance resilience to future developments. Especially, sections 6800 to 6875 are important as the foredune width is significantly smaller than that of the other sections (Fig. 5).

Therefore, the aim of this research is to assess the effectiveness of active dynamic foredune management in these sections in terms of safety; however, several other interests will have to be considered as well when introducing safety measures as a part of integrated coastal management (e.g., spatial planning and nature conservation) (Rijkswaterstaat, 2009; Rijkswaterstaat, 2011). Therefore, the emphasis in this research will not only be on providing safety, but also on achieving integrated coastal management. Evidently, attention will be given to the dilemma about the extent to which other goals should and can be considered besides the provision of absolute safety.

Research into the future development of active dynamic foredune management in this region specifically will contribute to potential local management practices of Rijnland and therefore also to the local safety, society, ecology and economy. The insights obtained will contribute to the identification of opportunities for the implementation of active dynamic foredune management on a more national level. Although representability of the results is limited to the Holland coast, research on the effects of sea-level rise and the effectivity and consequences of nourishment and enhanced dynamics will contribute to the scientific body of literature.

1.5. Research questions and framework

The following research question has been central in this study in order to fulfil the aim of the research:

What form of active dynamic foredune management of the coast can provide safety in sections 6775 to 7025 in the short and long-term, while optimizing natural benefit, but without jeopardizing the societal and economic environment?

To further guide the research process, the following sub questions were formulated:

1. *Which measures can be taken in the region to reach the objectives?*
2. *Which factors affect the effectiveness of the found measures?*
3. *What are interests within the region to account for?*
4. *How do the measures develop in the future?*
5. *How does this development affect the interests within the region?*

The first three sub questions will be answered within the literature review of this thesis. The literature review is followed by the methodology, which will encompass the methods used to provide answers for sub questions 4 and 5. The review and methodology are supported with information obtained from three interviews with experts in the field and some direct questions asked through mail. This was deemed necessary as management in practice can differ from theory. Further explanation, the interview method and the transcripts can be found in the Appendix. The results will provide the answers to sub questions 4 and 5, while these will be discussed within the discussion alongside the uncertainties. Finally, in the conclusion, an attempt will be made to provide an answer to the main research question posed.

2. Literature review

2.1. Coastal dune development

The development of coastal dunes depends on the exchange of sand between the foreshore, beach and dunes. This exchange is described by a process response model, which is the conceptual foundation for studies on coastal geomorphology (Fig. 6). The components periodically store and release sand, representing a typical closed system (Paskoff, 2003). However, there are many coastal zones that deviate from this model as the transport of sand also has a longshore component and is governed through complex interactions between the wind and sea, and vegetation growth (Martínez & Psuty, 2008; Paskoff, 2003). Influence on the factors governing sand transport is exerted in two main ways: climate change and management practices.

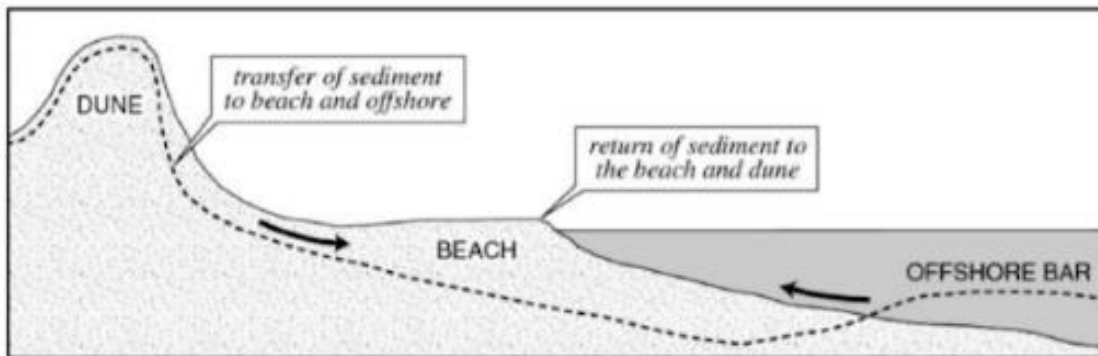


Figure 6. The cross-shore exchange of sand between the foreshore, beach and dunes represented by a closed system. This figure has been obtained from Paskoff (2003).

2.1.1. Climate change

Climate change has an impact on all factors regulating sand transport within the coastal system, thereby adding more uncertainty to the already complex interactions. The most obvious and best understood uncertainty of influence is sea-level rise (De Winter & Ruessink, 2017). The rise of the water level at the coast will most certainly cause a displacement of the water-land contact (Psuty & Silveira, 2010). De Winter & Ruessink (2017) found this near shore water level to be the main driver of higher erosion under sea-level rise conditions, since it allows waves to attack the dune at a higher level. Climate change can also influence the hydrodynamical boundary conditions (waves and storm surge levels). However, de Winter & Ruessink (2017) did not find the current wave height and -period to significantly change due to climate change.

Besides affecting erosion, climate change can affect dune accretion too. The accretion of coastal dunes is dependent on the availability of sand, prevailing onshore winds to transport sand inland and the presence of vegetation to trap sand (Keijsers et al., 2014). Due to the rise of the water level, beach width can be reduced, reducing the amount of sand available for aeolian supply to the dunes (de Winter & Ruessink, 2017). Aeolian supply is further influenced by changes in precipitation and wind patterns, which also impact the growth of vegetation (de Winter & Ruessink, 2017). Nevertheless, significant wind changes under climate change are not projected for the Dutch coast, while precipitation changes may be very small as well (Keijsers et al., 2014). Moreover, aeolian supply under rainfall can still be significant (Keijsers et al., 2014) (Arens, interview)

2.1.2. Management practices

Aside from climate change, management practices also exert great influence on coastal dune development (Paskoff, 2003; de Winter & Ruessink, 2017). Figure 7 shows that management tasks in the Netherlands have been divided into management of the coastal zone, the foredune and the inner dunes. The organisations responsible are Rijkswaterstaat, the water authority and either a nature organisation or drinking water company, respectively (IJff et al., 2019). Since these organisations regulate sand supply and the transport of sand inland (IJff et al., 2019), the effectiveness of active dynamic foredune management is also dependent on management of the coastal zone.

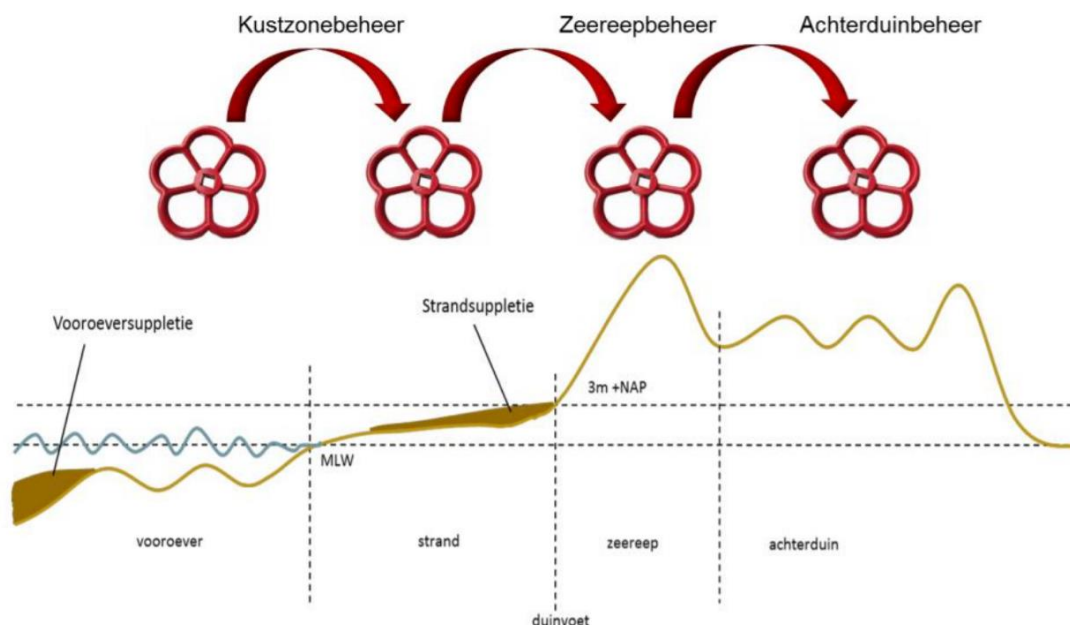


Figure 7. Overview of the locations along the coastal profile where activities can be controlled to regulate the supply of sand inland. These locations are represented by a red button. From left to right, these buttons are regulated by coastal zone management, foredune management and inner dune management. This figure has been obtained from IJff et al. (2019).

The management of the coastal zone is done by Rijkswaterstaat and encompasses the provision of sand through nourishment. In the prospect of sea level rise, current policy prescribes that the water level should not increase respectively to the ocean floor (de Winter & Ruessink, 2017). However, it is expected that a significant increase in the amount of nourishment will be needed to keep up this strategy. Haasnoot et al. (2018) concludes that the maximum rate of rise under projections of accelerated sea level rise would amount to nourishments 20 times the size of those done now to compensate for the whole coastal foundation.

On top of this, Haasnoot et al. (2019) stated that it is uncertain until which rate and which total amount of sea-level rise the current strategy of sand nourishments can be increased or improved. This uncertainty is said to be linked to the volume of sand that can be obtained and the way in which is nourished. The latter is of influence on the amount of sand that reaches the foredune. In this aspect, not only the volume of sand that is supplied by nourishment is important, but also the frequency, placement and grain size. These factors can be controlled by Rijkswaterstaat to a certain extent and are shown in Table 2.

Table 2. The controllable factors of coastal zone management on the amount of sand that reaches the dunes. This table has been adapted from IJff et al. (2019).

Controllable factors of coastal zone management	Effect
Frequency	Sand availability per year
Volume	Sand availability per year
Beach width	Sand availability per year
Height	Sand availability per year. The ratio wave erosion to wind activity influences sand availability.
Grain size	Sand availability per year. Coarse grains and shells limit sand availability.

In the study area, Rijnland is responsible for foredune management (Section 1.3). From within this position, Rijnland can influence foredune dynamics and the amount of sand supplied that reaches the inner dunes through several controllable factors, outlined in Table 3 (IJff et al., 2019). Besides grain size, the planting and removal of vegetation is introduced as a factor that is of major influence on the amount of sand transported inland. Nevertheless, more noticeable is that the other controllable factors all involve the construction of notches. Notches are features that are characteristic of many active natural foredunes. They are erosive features that facilitate the aeolian flow-through of sand from the beach towards the inner dunes (Schwarz et al., 2019). The construction of notches is a generally accepted and often recommended measure to increase both the sediment budget and dynamics within the inner dunes under current strategy (Arens et al., 2013; Löffler et al., 2011; Löffler et al., 2018).

It is expected that they potentially develop into more natural and self-maintaining notches that ensure a sustained influx of sand with minimal management (Schwarz et al., 2019). As can be observed in Table 3, the amount of notches and their width, length, orientation and height of construction and management can differ and will all influence how much sand is transported from or through the notches and where it will be deposited. The manager can influence these factors to a certain extent at the initial phase of construction and can guide the further development of these notches. To do this however, a thorough understanding of notch evolution is needed.

Table 3. The controllable factors of foredune management on the amount of sand that reaches the inner dunes. This table has been adapted from IJff et al. (2019).

Controllable factors of foredune management	Effect
The way of foredune management	Sand availability per year
Grain size	Coarse grains and shells limit sand availability
Vegetation cover	Obstructs sand transport
Notches (amount, width, height of construction and management)	Sand availability per year
Notches (length/scale)	Conductance of sand
Notches (orientation)	Erosion of predominant wind direction

2.2. Active dynamic foredune management: Notches

A notch is defined as a trough blowout. A blowout can either be categorized as a saucer or trough blowout based on their geometry (Schwarz et al., 2019; see Figure 8). The morphological evolution of blowouts follows three phases: initiation, development and closure (Schwarz et al., 2019). The phase of the blowout is dependent on the interplay between physical (abiotic) and ecological (biotic) processes. Abiotic processes are processes such as aeolian sand transport, wind speed, rainfall, and temperature. Biotic processes encompass vegetation establishment, growth (rate and period) and competition.

However, in depth knowledge on blowout development in both the spatial and temporal dimension and at natural and managed coasts is still lacking. To manage the uncertainty around the potential future development of a blowout, a conceptual model was made by Schwarz et al. (2019). This model is based on the relationship between biotic and abiotic feedbacks, where erosion suppresses vegetation establishment while (limited) accretion facilitates it; as a result, blowouts can follow different pathways of development. Blowout initiation is related to the dominance of abiotic processes, blowout development to the dominance of biotic-abiotic interactions and blowout closure to the dominance of biotic processes. The interested reader can find a detailed description of all biotic and abiotic processes, including their interactions, in Schwarz et al. (2019).

An increasing number of coastal projects in the Netherlands involve the construction of foredune notches. At the segment of the coast managed by Rijnland, two major projects have been initiated: the Noordwest Natuurkern project (sections 5925 to 6025) and project Noordvoort (sections 70 to 73). Due to their relative proximity to each other and the study area and due to being under the same management, conditions can be called roughly similar. Although both projects were set up for ecological reasons by nature organizations, the approach to notch development in the projects differed and as a result notch development has as well (Arens, 2018; Ruessink et al., 2018).

The Noordwest Natuurkern (NN) project was initiated in 2012 and since the area has been qualified as robust, notch development was tested on a large scale. Its initiation and progress have been described by Ruessink et al. (2018). Five notches were excavated and dug throughout the whole foredune with lengths ranging from 100 to 200 meters and depths ranging from 9 to 12.5 meters. Over the period of development, the notches have remained non-vegetated and inland the amount of bare sand has increased immensely over time.

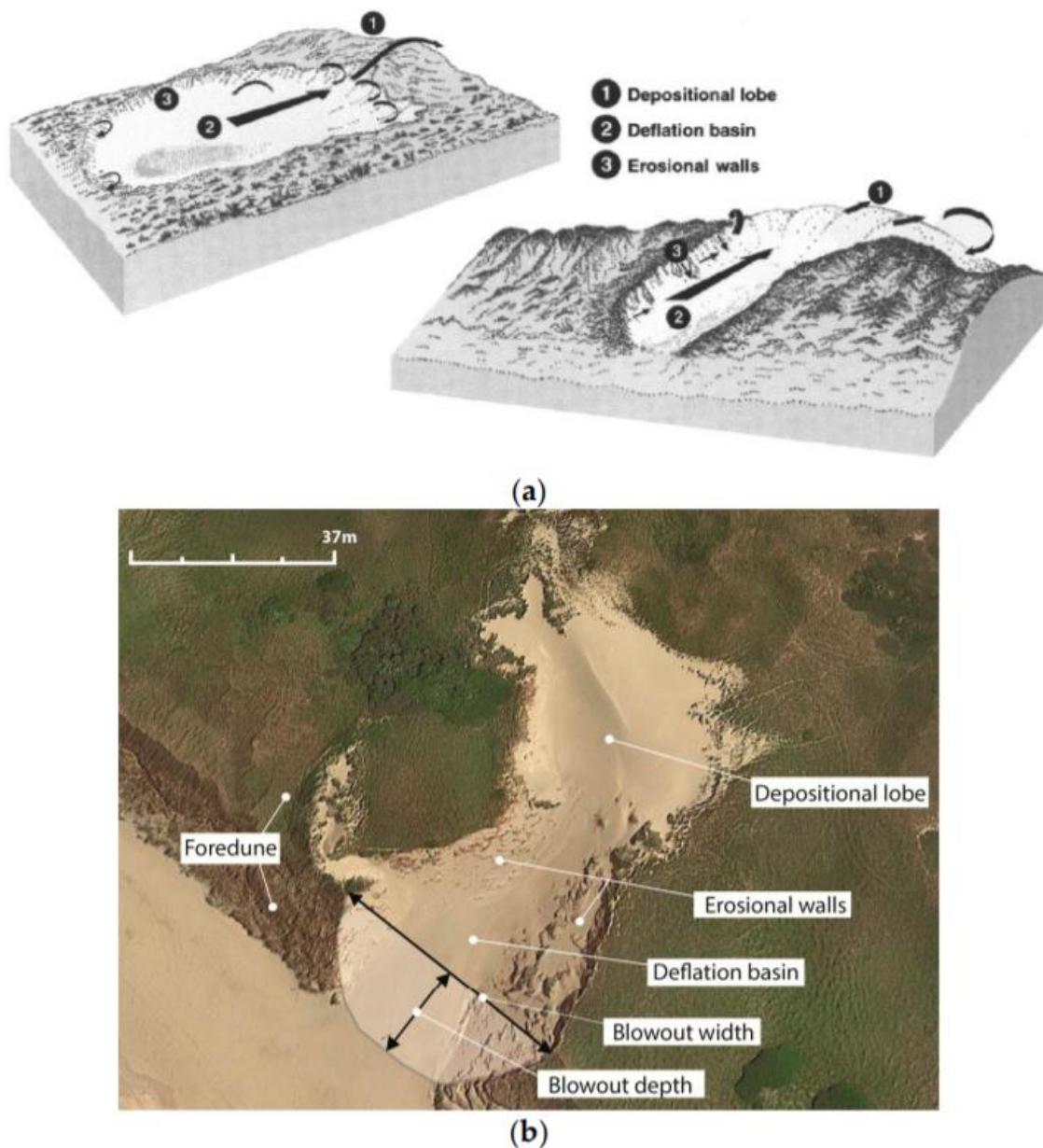


Figure 8. A) Schematic overview of a saucer (left) and trough blowout (right) showing the depositional lobe (1), deflation basin (2) and erosional walls (3). B) Overview of a trough blowout along the Holland coast, in which several characteristics have been denominated. This figure has been obtained from Schwarz et al. (2019).

Interestingly enough, the notches have almost solely flattened out over this period of time. The lateral walls of the notches have eroded considerably, while the notch floor remained the same. Following the conceptual model of Schwarz et al. (2019), the notches are at the end of phase 1, where morphological funnelling is reduced due to the increasing depth/width ratio. Vegetation should be about to establish due to the reduction in wind speed and trigger a transition into phase 2. Ruessink et al. (2018) also found that the notches acted as a passage for the transport of sand from the beach more inland. About 75% of the sand supplied to the dunes was blown through the notches instead of accumulating on the face of the foredune

Project Noordvoort, initiated a year after the NN project, has notches that are of a significantly smaller scale than those of the NN. To be more precise, they were not meant to become notches, but more shallow blowouts. This was done due to safety reasons as the area was not as robust as that of the NN project and it lacked an appropriate area for deposition (Arens, 2018)(Arens, interview). The initiation and progress of project Noordvoort have been described by Arens (2018). Seventeen blowouts were initiated, but not all became successful. Small excavation was done with a maximum depth of 3 meters, while some blowouts were solely initiated by the removal of vegetation. As a result, management efforts were needed afterwards to remove re-establishing vegetation and keep the blowouts active. Only four blowouts at Noordvoort can be called notches, while two other blowouts have the potential to become notches.

Throughout the years, the depositional zones have expanded leading to an increase in bare sand areas, which is comparable to the notch development in the NN project. The notches have increased in width, but contradictory to the NN project, the increase in depth is more significant. Following the conceptual model of Schwarz et al. (2019), the notches are at the beginning of phase 1, where the depth and width are still increasing due to the increase in morphological funneling of the wind. Arens (2018) does not specifically address the passage of sand from the beach inland through the notches, but since most of the notches do not connect to the beach, sand is not likely to pass through.

2.3. Other interests

A change to active dynamic foredune management must be considered against other interests in the study area apart from safety. The increase in drifting sand from the beach and foredune that accompanies dune reactivation can have negative consequences for infrastructure and ecology located landward of the area of activity (IJff et al., 2019). In turn, these interests thus exert influence on the feasibility and effectiveness of the measures, besides climate change and management practices. The interest can be divided into two categories: man-made structures and nature conservation.

2.3.1. Man-made structures

An inventory of infrastructure within the study area was made in Figure 9. First, it should be noted that the cycling track is located quite close to the foredune at section 6850. To be specific, the cycling track is situated at 92 to 94 meters -RSP, while the top of the foredune ranges from about 25m to 60m -RSP. RSP stands for Rijkstrandpalenlijn, which is the line of beach poles parallel to the coast used by Rijkswaterstaat as a reference for measurements. The proximity of the cycling track to the foredune, makes it plausible for sand deposition to become an inconvenience for cyclists or even render the cycling track unusable.

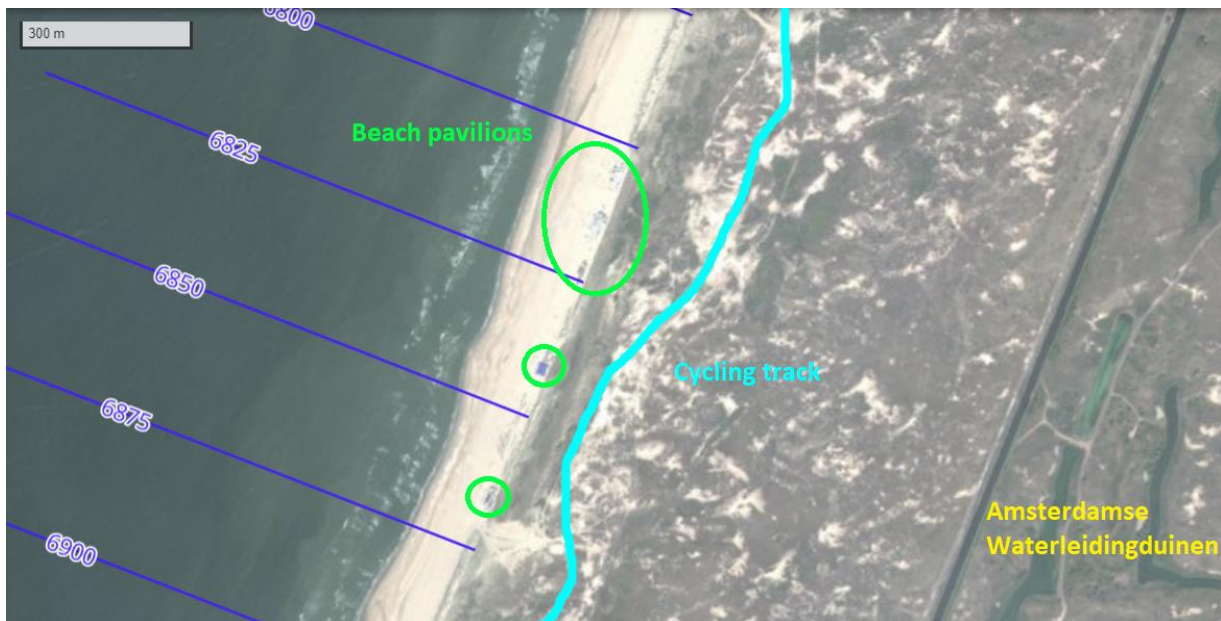


Figure 9. Overview of man-made structures in the study area. This image has been adapted from the Openearth version of the Coastviewer developed by Deltares in cooperation with Rijkswaterstaat.

Parallel to the cycling track, a gas pipe is present, which is located at 100m -RSP at section 6850. The potential extensive deposition on the leeside of the foredune can make the pipe difficult to reach, which can be a problematic when it has to be replaced. However, erosion might be of greater concern. When, for instance, a notch develops on a larger scale and the area above the gas pipe becomes part of the erosive zone, the gas pipe might get exposed to the air (Arens & Veer, interview). This can make for a dangerous situation as the gas pipe becomes more vulnerable and susceptible to corrosion and leakage. The Amsterdamse Waterleidingduinen, are located further inland of the study area (Fig. 9). Here, the dunes are used for drinking water extraction, but the water extracted is mostly purified river water (Amsterdamse Waterleidingduinen, n.d.). It has been found that reactivation of the foredune does not have a significant effect on water extraction. Solely the potential widening of the dune can in theory positively influence the amount of water extracted (Veer, interview).

The effectiveness of active dynamic foredune management is not only obstructed by infrastructure located landward of the foredune, but also by that seaward of the dune. In Figure 9, it is seen that five pavilions are situated at the front of the foredune. These man-made structures can hinder sand drift towards the dunes and, therefore, dune growth and inland sand drift as well (Reinders et al., 2014). Data on this is found to be lacking, but it was recommended by Hoonhout & van Thiel de Vries (2013) to maintain a minimal distance of once the width of a pavilion between pavilions. Although, it seems as though the pavilions in the study area comply with this advice, Reinders et al. (2014) did find solitary pavilions to significantly affect dynamics.

2.3.2. Nature conservation

Two laws on nature conservation are to be enforced in the study area: the Natuurnetwerk Nederland (NNN) and Natura2000. The Programma Aanpak Stikstof (PAS) was in force as well until its abolishment on the 29th of May 2019 (Aanpak Stikstof, n.d.). NNN has been formed as a network of protected areas in the Netherlands (Rijksoverheid, 2018). In these areas, certain management types are to be upheld. The management type called Open Dune that is to be enforced in the study area should encompass the stimulation of dynamics as fixation of the dune is in violation with the management type (Bij12, n.d.; Provincie Noord-Holland, n.d.). PAS also recommended the stimulation dynamics, as it was set up to lessen nitrogen deposition (Natuurmonumenten, n.d.). The positive influence of dynamics on nature was to be expected as active dynamic foredune management is mostly advised from an ecological perspective (Section 1.3). However, in the context of Natura2000 goals, it becomes more complicated.

The dunes in the study area are part of the Natura2000 designated site, Kennemerland-Zuid, based on the habitats directive (Provincie Noord-Holland, n.d.). Both the habitats directive and birds directive establish the Natura2000 ecological network of protected areas and form Europe's nature conservation policy aimed to stop the decline of biodiversity in Europe (European Commission, n.d.). As part of the habitats directive, habitat surface extension and quality are not allowed to degrade and should ideally even be improved in the area. H2120 (white dunes), H2130A (grey dunes (calcareous)) and H2160 (bucket seathorn) make up the habitats in the study area as can be observed in Figure 10. However, a deposition of more than 4 cm/yr is too much for all vegetation types part of a grey dune habitat and can already convert it to white dune habitat, which is officially in violation with Natura2000 legislation (van der Hagen, personal communication). Although the guiding principle of the legislation is that areas do not change, while only quality does, in reality, the landscape is ever changing. This has caused confusion among managers and ecologists (Broekmeyer & Pleijte, 2016; Damsma, interview).

2.4. Chapter summary

The answers to the first three sub question found through the literature review can be summarized as follows:

1. Which measures can be taken in the region to reach the objectives?

The main measures that can be taken are those around the construction of a notch.

2. Which factors affect the effectiveness of the found measures?/ 3. What are interests within the region to account for?

There are a range of factors that influence the effectiveness of the construction of notches. First and foremost, the development of the notches self. The scale of the notch affects the amount of erosion of the foredune as well as deposition in a major way (Section 2.2). Foredune management can regulate the scale of notch development together with several other factors (e.g., amount and orientation) (Section 2.1.2). Climate change and coastal zone management influence the morphology of the study area as a whole. Major uncertainties around climate change are those associated with sea-level rise, while those around coastal zone management are the volume of nourishment and the way in which is nourished. A link between the interests in the study area and the effectiveness of notch construction was also established. Man-made structures were found to exert negative influence on the effectiveness of the construction of notches by obstructing the amount of sand drift possible. These structures are: the cycling track, the gas pipe and the pavilions. Lastly, the construction of notches can benefit biodiversity, but Natura2000 legislation can vice versa also limit the scale of notch development.

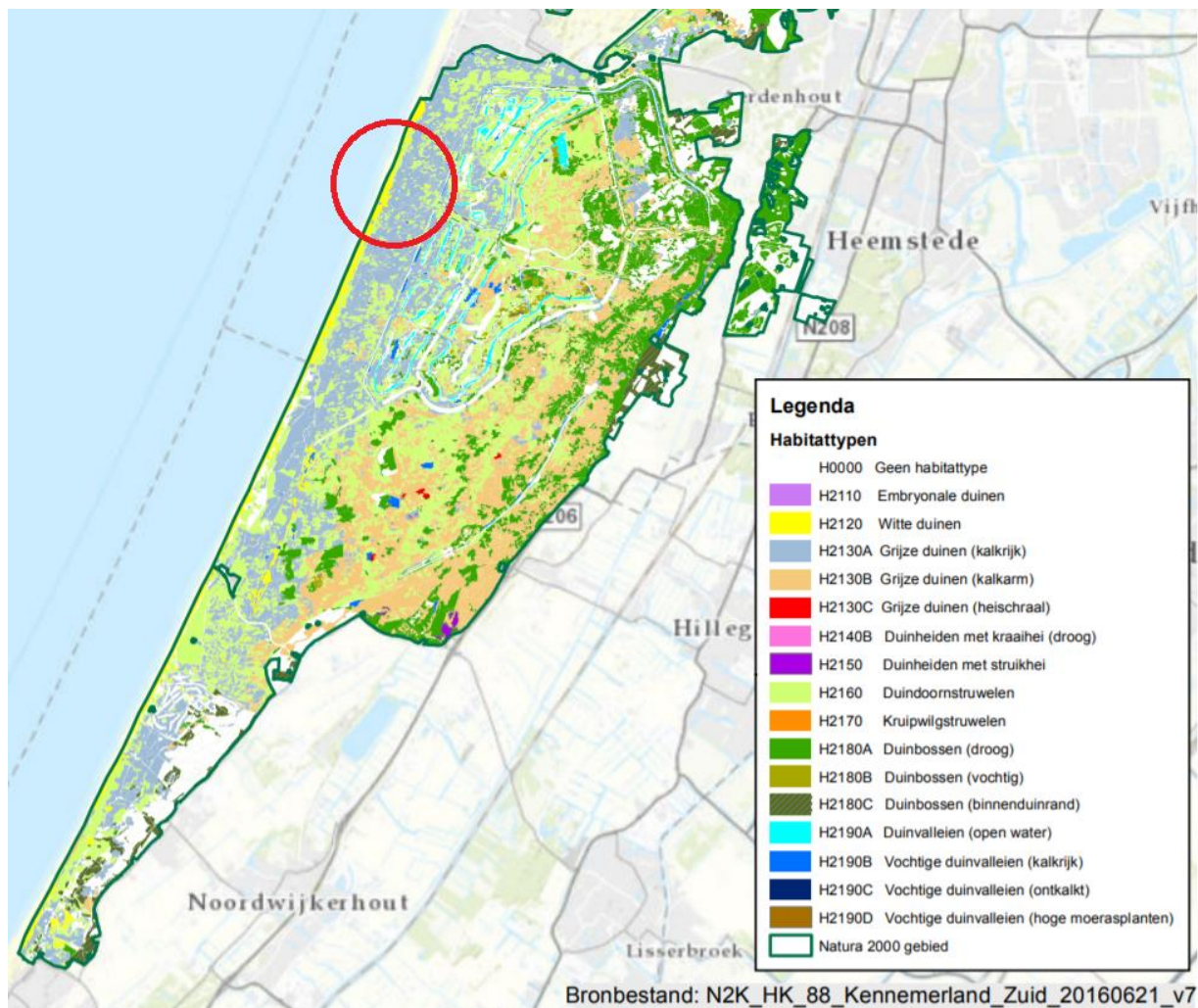


Figure 10. Habitatmap of the southern part of Kennemerland_zuid. The red circle indicated the approximate location of the study area, which encompasses habitats H2120 (white dunes), H2130A (grey dunes (calcareous)) and H2160 (bucket seathorn). This map has been adapted from (Provincie Noord-Holland, n.d.).

3. Methodology

3.1. Reading guide

In this chapter, the methods regarding the assessment of the effect of notch evolution in the study area on the interests within the study area as described by sub question 5 are outlined. In order to perform assessments, it was needed to simulate the beach-dune development through time as indicated by sub question 4. The tool that was used to do this is introduced in chapter 3.2. Using this tool, future morphological development is represented through sequences of cross-shore profiles. Scenarios were made in order to capture the range of plausible futures for morphological development based on the factors of influence and associated uncertainties found.

The formation of these scenarios and the assumptions made in order to make logical sequences of cross-shore profiles per scenario are formulated in chapter 3.3. Then in chapter 3.4., the data that was needed to make the cross-shore profiles per scenario is outlined, whereas chapter 3.5. shows and discusses the sequences of cross-shore profiles per scenario that were made. Finally, the assessment of interests based on these profiles per scenario is described in chapter 3.7. The developed profiles can, thus, be regarded as input for the final assessment of interests.

3.2. Morphan

MorphAn enables morphological analyses of the coast and is primarily developed to assess both coastal development and dune safety (Deltares n.d.). MorphAn has been officially appointed in the Netherlands as the application for dune safety assessment and is the main tool in use at Rijnland (Rijksoverheid, n.d.b). Besides its function to generate profiles as implied in Section 3.1, these are the primary reasons as to why this model has been chosen in this study.

The assessment of coastal development in MorphAn works based on Jarkus measurements, which are yearly measurements of coastal profiles (Lodder & Geer, 2012). In the applied version, MorphAn includes the Jarkus dataset from 1965 up to 2019, which can be analyzed at different levels of aggregation and in the various levels of time and space (Lodder & Geer, 2012). For instance, through the volume development model, volumes within a certain area of the profile can be calculated, which can then be used to calculate trends for volume development over a range of years. It is possible to expand the default Jarkus dataset by adding user defined data (Lodder & Geer, 2012). This data can be generated by manually adjusting the existing cross-shore profiles for, for example, expected changes due to dune reactivation. This function was used to generate cross-shore profiles beyond 2019. These profiles can then be used as input in MorphAn to assess dune safety.

Dune safety assessment within MorphAn is done using the dune safety model, which enables the user to perform a test on dune safety following the Technisch Rapport Duinafslag 2006 (ENW, 2007). Given the profile of interest and the hydraulic conditions of a storm surge (wave characteristics and maximum water level), erosion is calculated using the sand balance model Duros+ (ENW, 2007). First, it is assumed that the dune foot, which the location where the steep dune front changes into the gentler slope of the beach, at the end of a storm is located at the storm surge level (ENW, 2007; see Figure 11). Sand will be necessary seaward to maintain a balance now that the dune foot is located higher. Duros+ calculates this amount by shaping the erosion profile seaward of the dune foot using various formulas as outlined in ENW (2007), see Figure 11. These formulas describe the shape, the seaward extension and the depth of the erosion profile. The erosion above storm surge level (A) is then calculated as the amount of sand necessary (called accumulation in Figure 11) seaward to maintain a balance. The erosion follows a steep slope of 1:1, where P and R' are the new dune foot and location at ground level, respectively (Fig. 11).

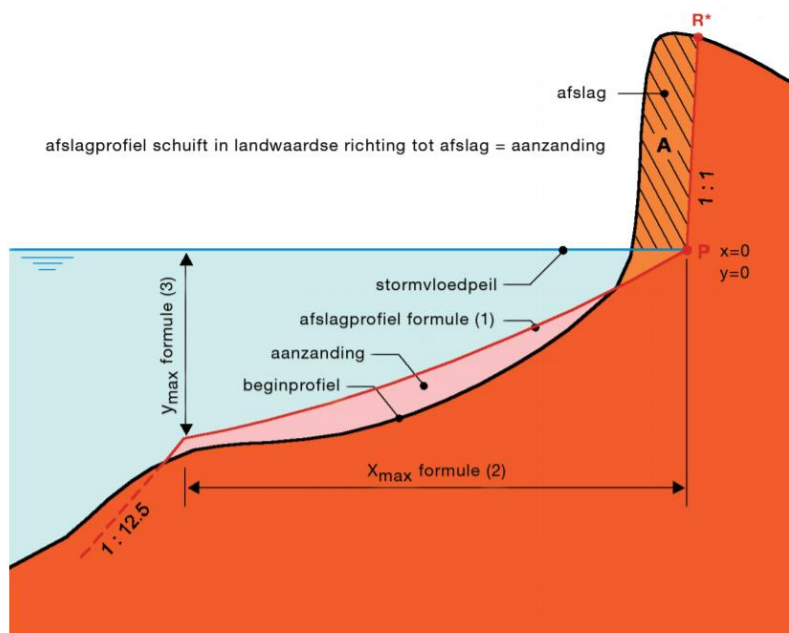


Figure 11. The Duros+ model. The definitions read from right to left: erosion, storm surge level, erosion profile, accumulation and starting profile. This figure has been obtained from ENW (2007).

After Duros+ has finished the erosion calculations, it fits a boundary profile represented by a yellow triangle into the remaining volume of the dune (i.e., landward of A in Figure 11), see Figure 12. This boundary profile represents the minimum profile that should remain in the dune for it to be called safe on basis of a 1:30000 maximum allowable chance of flooding (ENW, 2007). The volume of this profile is determined by the minimum top height, which is described by a formula, the minimum top width and the inner slope, following ENW (2007). Figure 12 is the output of the dune safety model as represented in MorphAn. Besides the erosion volume (A volume) and boundary volume, Figure 12 also includes the T volume, which is the additional erosion volume that represents uncertainty in the A volume calculations due to the eventual lack of accuracy of the model (ENW, 2007).

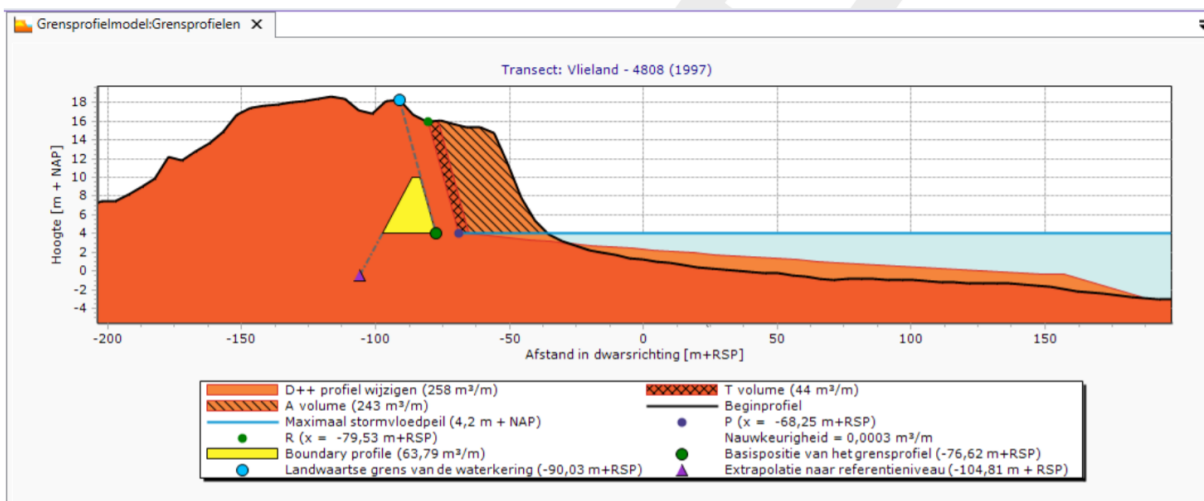


Figure 12. An example of the output of the dune safety model that is part of MorphAn. This image has been obtained from Deltares (2017).

3.3. Scenario formation and assumptions

To systematically explore the future beach-dune development under notch development, scenarios were formed. There are several different techniques used for scenario building within water management, of which the most used and tested method is the 2x2 matrix technique (Wolters, 2009). Using this technique, the two largest, yet independent uncertainties put on two independent axes to create up to four scenarios (Wolters, 2009). The largest uncertainty of influence around notch development is the scale of the notch (Section 2.4). The second uncertainty used concerns the associated deposition. This deposition is not guaranteed to be fully placed in the same cross-shore section as the notch develops due to wind dynamics, leading to relative loss of sand within the section. In MorphAn, the developed profiles will be oriented cross-shore and the sand loss might impact assessments rigorously.

Following the 2x2 matrix technique by using these uncertainties as axes, the four scenarios created can be seen in Figure 13. Due to similar conditions, small-scale notch development will be represented by the notches of project Noordvoort, while large-scale notch development will equal those of the NN project (Section 2.2). In the scenarios with upper boundary deposition, notch erosion within the cross-shore profiles will be fully translated into deposition. In the scenarios with lower boundary deposition, the deposition will only be part of the erosion based upon data from cross-shore profiles made of project Noordvoort and the NN project.

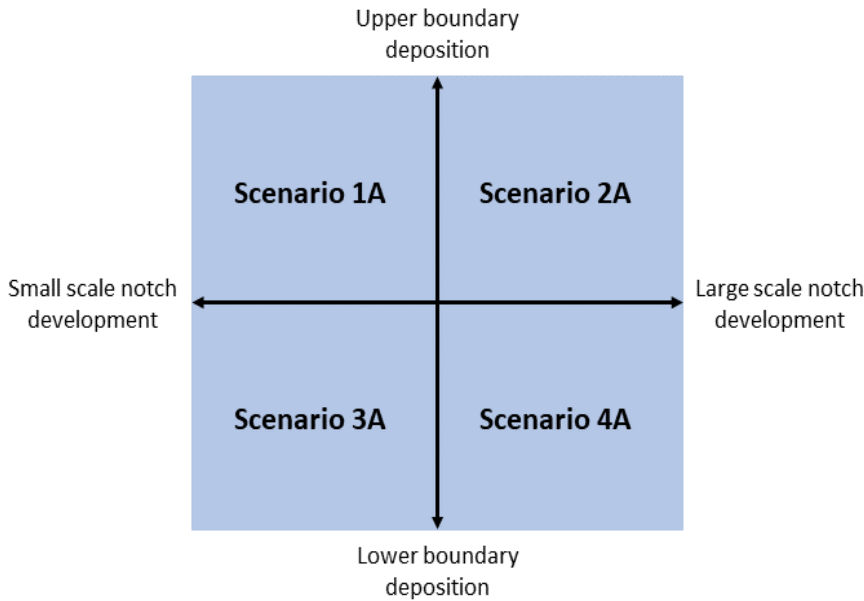


Figure 13. The four notch development scenarios created by using the two biggest uncertainties around notch development as axes following the 2x2 matrix technique for scenario building.

On top of this, sea-level rise is expected to substantially influence the morphological development of the coast (Section 2.4). The outcome of the dune safety assessment as done through MorphAn is also significantly influenced by sea-level rise as it influences the total surge level (Section 3.2). Nourishment, as an important factor of influence associated with coastal zone management (Section 2.4), is expected to keep up with the increasing water level following current policy (Section 2.1.2). Therefore, it was chosen to heighten the foreshore and beach to compensate for the rise of the sea. As a result, sea-level rise scenarios both represent the rise of the sea and the amount of nourishment in this study. The addition of two sea-level rise scenarios resulted in a total of eight scenarios for morphological development to be made within MorphAn. In these scenarios, the morphological evolution will, thus, differ as a result of the scale of notch evaluation, the resulting deposition and the sea-level rise scenario considered. A complete overview of the used scenarios in this study is shown in Figure 14.

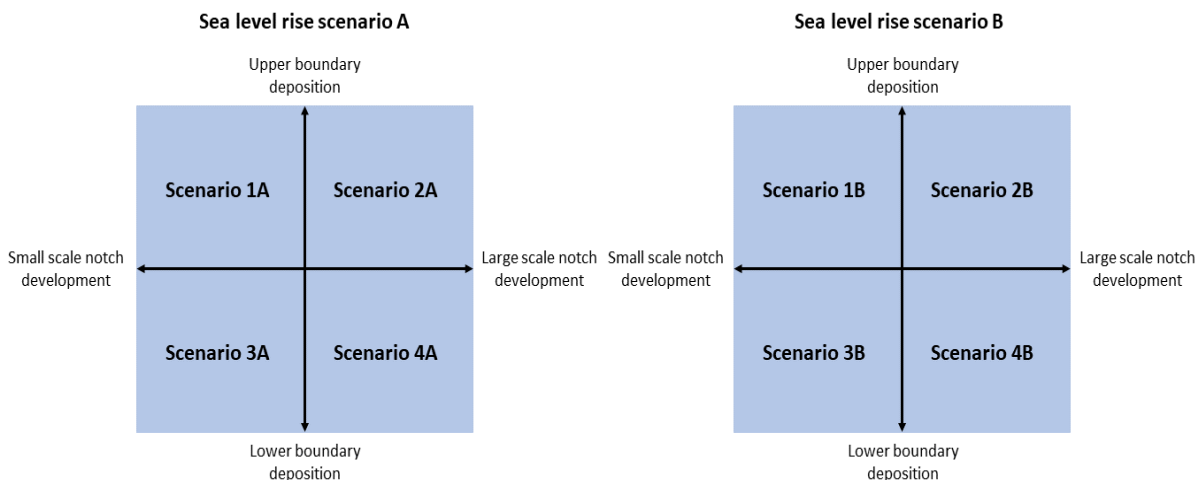


Figure 14. An overview of all scenarios simulated within MorphAn. In the scenarios morphological development differs as a result of the scale of notch development, resulting deposition and the sea-level rise scenario considered.

The scenarios simulated in MorphAn will give an overview of the morphological development of section 6850. This section was chosen not only because the safety risk is biggest as the dune is narrow, but also because the risk for infrastructure is the most prominent as the cycling track and gas pipe are located closest to the foredune (Section 1.4 & 2.3.1). To be able to make accurate sequences of cross-shore profiles per scenario for this section, certain assumptions were made. These assumptions and their substantiation are shown in Table 4. Besides the assumption concerning nourishment, the assumptions are made to cover the uncertainty around the future evolution of a notch.

Table 4. The assumptions made within the scenarios accompanied by their substantiation.

Assumption	Substantiation
<i>The foreshore and beach will be heightened parallel with the raise of the water level, but an extra amount is added as well.</i>	It is expected that the nourishment volume will keep up with sea-level rise (Section 2.1.2).
	The amount of nourishment currently provided is more than that of the current sea-level rise (Veer, personal communication).
	By adding an extra amount, sea-level rise for the coming years is anticipated. This is also the strategy behind mega-nourishments, such as the sand motor (de Zandmotor, n.d.).
	The extra amount added can also be seen to be due to an influx of a future neighbouring sand motor (de Zandmotor, n.d.).
<i>The sand influx towards the dune can be based on the current trend found in section 6850 and nearby sections.</i>	The amount of nourishment as assumed in previous assumption is based on current trends.
	The volume of sand that reaches the dunes is not solely dependent on the amount of nourishment, making it more reliable to uphold current trends (Section 2.1.2).
<i>The small-scale notches of project Noordvoort are a representative starting point for notch development in all scenarios.</i>	Project Noordvoort is located just south of the study area and has highly similar conditions (Section 2.2).
	The approach for notch development in the study area is similar to the small-scale approach in project Noordvoort (Arens, 2019). It is more logical to think that this initial approach might evolve to larger scale development when successful.
	During the construction of the large-scale notches of the NN project in 2012, a substantial volume of sand was removed without being redeposited in the area (Ruessink et al., 2018). This is not advisable in the study area from a safety perspective.
<i>In the small-scale scenarios (1&3), notch development will be stopped when deposition on the cycling track is more than 1 m/yr.</i>	Following from the interview with Maaïke Veer (Appendix), it became clear that the main desire for small-scale notch development was the otherwise excessive sand deposition on the cycling track as its relocation is not feasible. With such a rate of deposition, measures that include

	the removal of sand through machines or concrete plates will not be effective enough.
<i>For the scenarios of large-scale development (scenario 2&4), the assumption is made that when the simulated notch reaches the same depth as the notches of the NN project, the notch will further develop following their development pattern.</i>	Since the notches of project Noordvoort are currently small scale, their further development into large-scale notches has to be estimated based on other projects.
	Conditions around the NN project can be called roughly the same as at the study site (Section 2.2).
	The notches in the NN project flatten rather than deepen (Section 2.2).
<i>In the large-scale scenarios (2&4), the years needed to deepen the notch over time is equal to the years needed to flatten the notch with the same volume.</i>	Since the initial development of a notch will be based on project Noordvoort, an assumption has to be made on the transition towards that of flattening of the notches of the NN project.
	By assuming a balance between the volumes eroded, a time-scale for flattening could be made.
<i>When the simulated notch in scenarios 2&4 has reached the same shape, length and depth of the notches of the NN project, it is assumed that they become inactive and act solely as a conduit for sand from the beach.</i>	Currently, the notches of the NN project are at the end of phase 1 (Section 2.2). Following Schwarz et al. (2019), vegetation may soon re-colonize the deposition lobe and notch erosion will cease.
	Ruessink et al. (2018) found that about 75% of the sand supplied from the beach, passes through the notches instead of accumulating entirely on the face of the foredune (Section 2.2).
<i>Upper boundary deposition (scenario 1&2) within the simulated profiles results from that of another notch, located nearby the simulated notch, of which its deposition ends up in the simulated cross-shore profile due to wind dynamics.</i>	Cross-shore notch profiles do not show equal erosion to deposition due to longshore processes (e.g., wind dynamics and notch interaction) (Section 2.1&3.3), but management can cause these upper boundary conditions as a result of notch placement (e.g., notches very close to each other).

3.4. Scenario data collection

3.4.1. Sea-level rise

The two sea-level rise scenarios used in this study are shown in Figure 15 and have been calculated by the KNMI for the Dutch coast. In both scenarios, the rise is relative to the water level as measured in 1995 and based on 95 percentile data. Until approximately 2043, the rate of sea-level rise in the scenarios is about equal. In this year, the sea-level has risen 0.35 meter in scenario KNMI14 and with 0.39 meter in that of accelerated sea-level rise RCP8.5. From then on, the scenario of accelerated sea-level rise begins to significantly diverge from that of KNMI14. This results in a difference in sea-level rise of about 2 meters in 2100 with a sea-level rise in KNMI14 of 0.98 meter and 3.17 meter in RCP8.5.

KNMI14 was chosen to be used in this study as it is currently leading in the Deltaprogram, however, in 2021 the Deltaprogram will be updated including scenarios of accelerated sea-level rise (Haasnoot et al., 2018). The accelerated sea-level rise RCP8.5 is a scenario made by the KNMI in advance of this. The scenario takes into account the newly predicted increased mass loss of the Antarctic ice sheet (Bars et al., 2017). Instead of emission scenario 2.6 and the best guess projections of KNMI14, emission scenario 8.5 and high end projections were used (Bars et al., 2017). Hence, the diversion at 2043 in Figure 15. Because the scenarios will be used for dune safety assessment, a worst case reasoning was found to be appropriate. Therefore, the 95 percentile scenario was chosen to be used from both scenarios. The KNMI14 95 percentile will represent sea-level rise scenario A, while the RCP8.5 95 percentile will represent sea-level rise scenario B (Fig. 14).

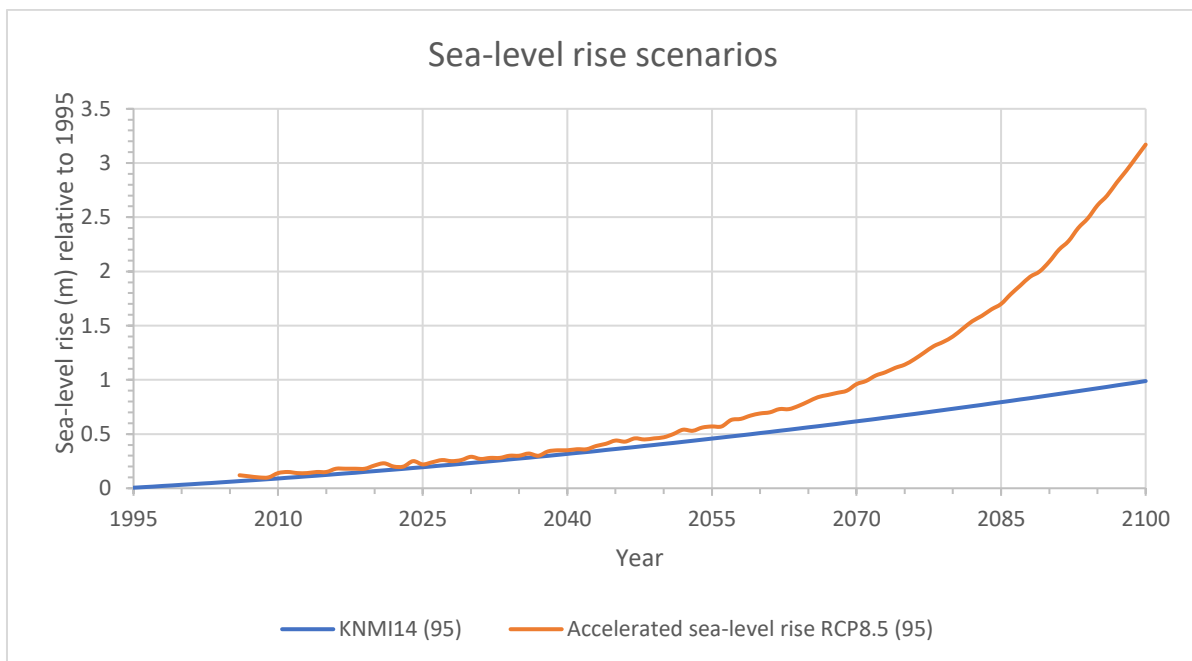


Figure 15. Graph that shows the rate of sea-level rise until 2100 of the two 95 percentile sea-level rise scenarios used in this study. This data has been obtained from the KNMI.

3.4.2. Foreshore, beach and dune accretion

In the sequences of profiles, sand will be added to the foreshore and beach to increase with more than the water level. This depends, thus, on the profiles being part of scenarios A or B (Fig. 15). The volumes of sand for the foreshore and beach are spread out equally from -5 to 3 m +NAP within all profiles, since this is the area over which the need for nourishment is calculated (Damsma, interview). The trend regarding the net accretion of the dunes was calculated by using the volume development model within MorphAn (Section 3.2). This was done for section 6850 and four nearby sections. The volume was calculated in an area specified by two vertical boundaries and two horizontal borders, as can be seen in Figure 16.

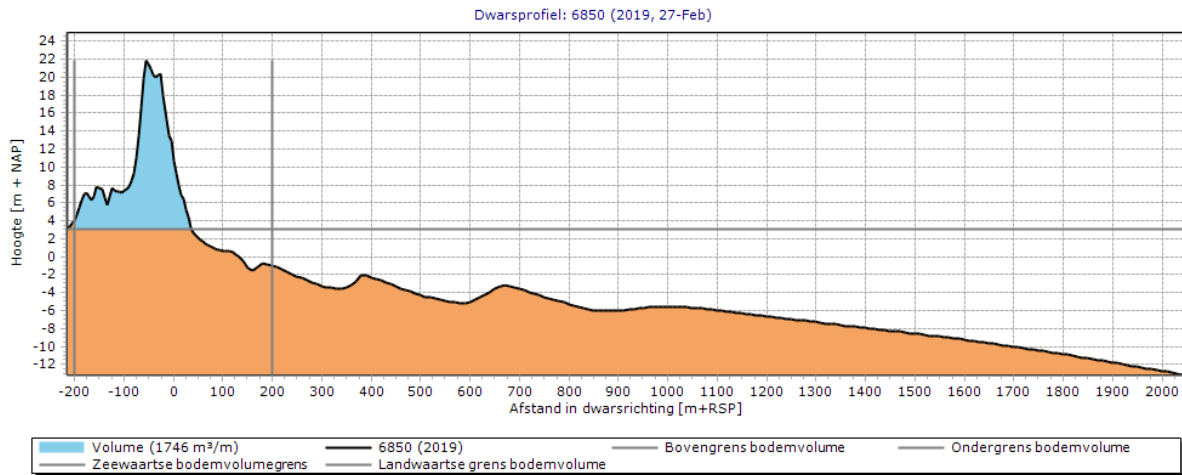


Figure 16. An example of the output of the volume model for the cross-shore profile of section 6850 in 2019 obtained through MorphAn. The specified area over which the volume is calculated is colored in blue. The grey lines indicate the boundaries.

The lower vertical boundary was taken as 3m NAP in all sections. The inland border was taken as the most inland cross-shore location of the profile included within MorphAn. The upper boundary and seaward border were adjusted to further fit the dune (Fig. 16). After specifying the area over which the volume is calculated in the volume model, the trend of net accretion was calculated over a period of 10 years ranging from 2009 to 2019 per section. The specific inputs for the volume and trend model and the resulting calculated trend per section are shown in Table 5 together with the timing of performed nourishment within the sections. The trend of 11 m³/yr used in this study for the net accretion of the dune within the profiles for all scenarios was calculated as an average over the sections. Currently, thus without notch development in play, the overall biggest share of the sand in the dunes in the study area accumulates between 3 and 14m NAP (Fig. 17). The 11 m³/y will be spread equally over this area in the profiles.

Table 5. Overview of the timing of performed nourishments, inputs for the volume development model and the found trends for section 6800 to 7000 over a period of 10 years.

Section	Period (yr)	Nourishment (yr)	Inland border (m+RSP)	Seaward border (m+RSP)	Lower boundary (m+NAP)	Upper boundary (m+NAP)	Trend (m ³ /yr)
6800	2009-2019	2008 & 2016	-200	200	3	25	9,73
6850	2009-2019	2008 & 2016	-200	200	3	25	18,75
6900	2009-2019	2008	-200	200	3	25	14,45
6950	2009-2019	2008	-200	200	3	25	13,15
7000	2009-2019	2008	-200	200	3	25	2,47

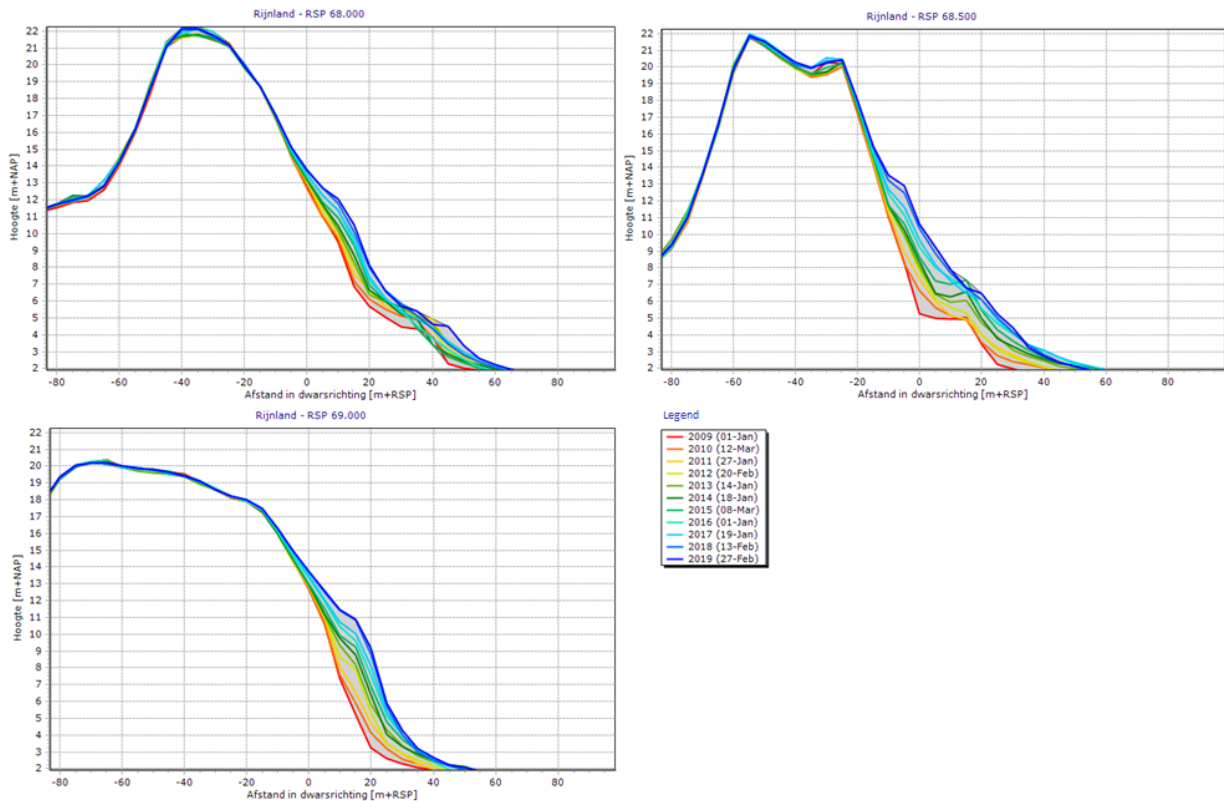


Figure 17. The patterns of dune growth over a period of 10 years, ranging from 2009 to 2019, for section 6800, 6850 and 6900.

3.4.3. Notch erosion and deposition

To derive numbers for notch evolution, rasters containing elevation data of Noordvoort and the NN regions were analysed in QGIS. Of the 17 notches part of project Noordvoort, notch 5, 9 and 11 were selected to be used for the simulation of the development of a notch in the study area based on the following requirements:

1. The notch must be active as well as have the potential to remain active.
2. The erosion and deposition areas of the notch are not to be disturbed by those of another notch located nearby as to more accurately represent the sole development of a notch in the simulated profile.

Profiles of the selected notches were made perpendicular to the coast, to replicate the orientation of the simulated cross-shore profiles within MorphAn. Both the location of the drawn profiles and the associated cross sections are shown in Figure 18. Notch 4 and 5 at the NN also meet with the requirements and are shown in Figure 19.

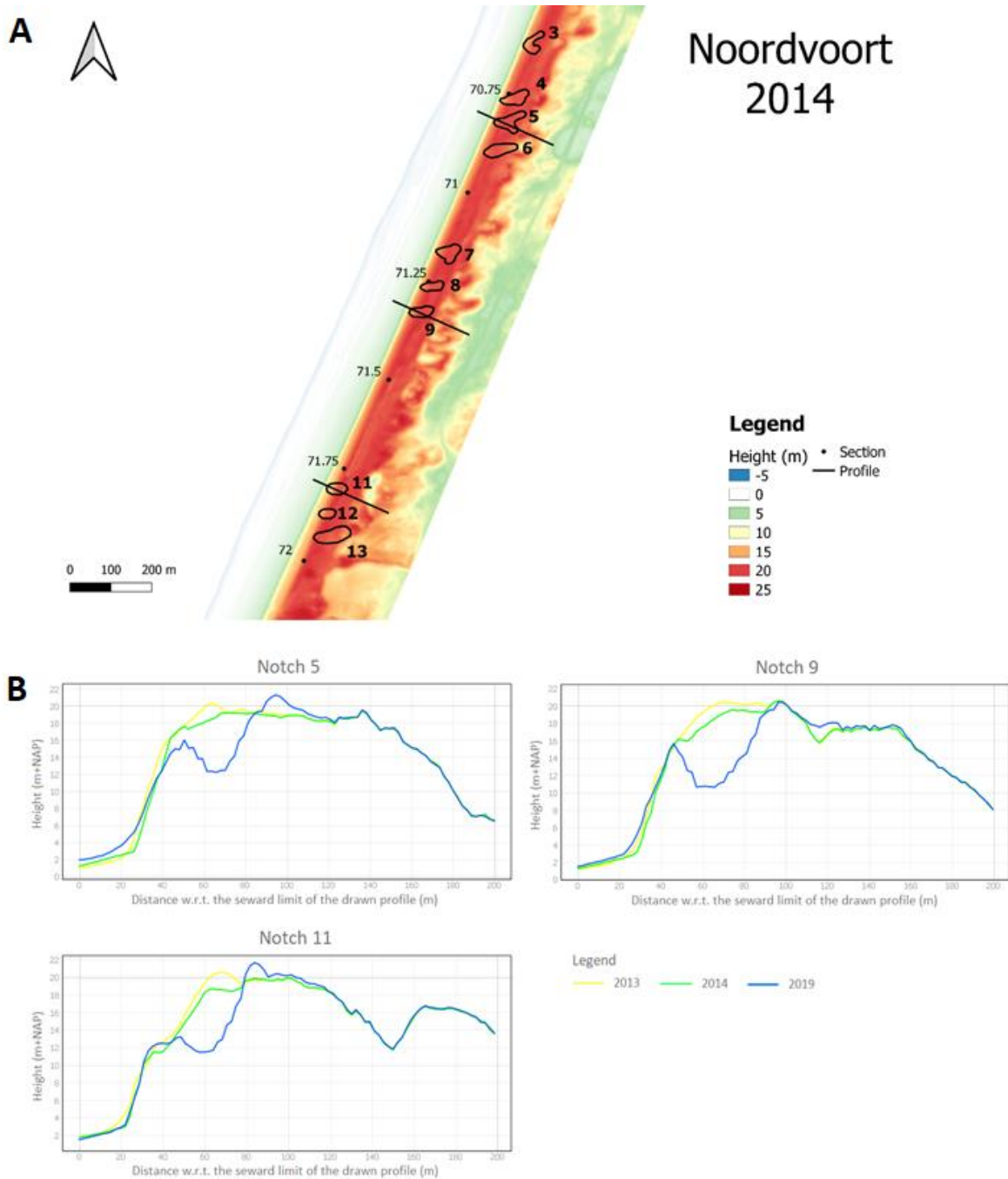


Figure 18. Overview of the selected notches of project Noordvoort with A) the location and orientation of the drawn profiles and B) the cross sections of the profiles.

Notch development is dependent on a lot of different factors and notch development in the study area will most probably never be exactly similar to that of a notch that is part of the other projects. Therefore, a method will be used that represents the average development of the selected notches. The erosion of the notches of project Noordvoort will be represented by that of a parabola within MorphAn. The shape of this parabola will be based upon two factors:

1. The length of the notch in the profile
2. The maximum depth of the notch in the profile

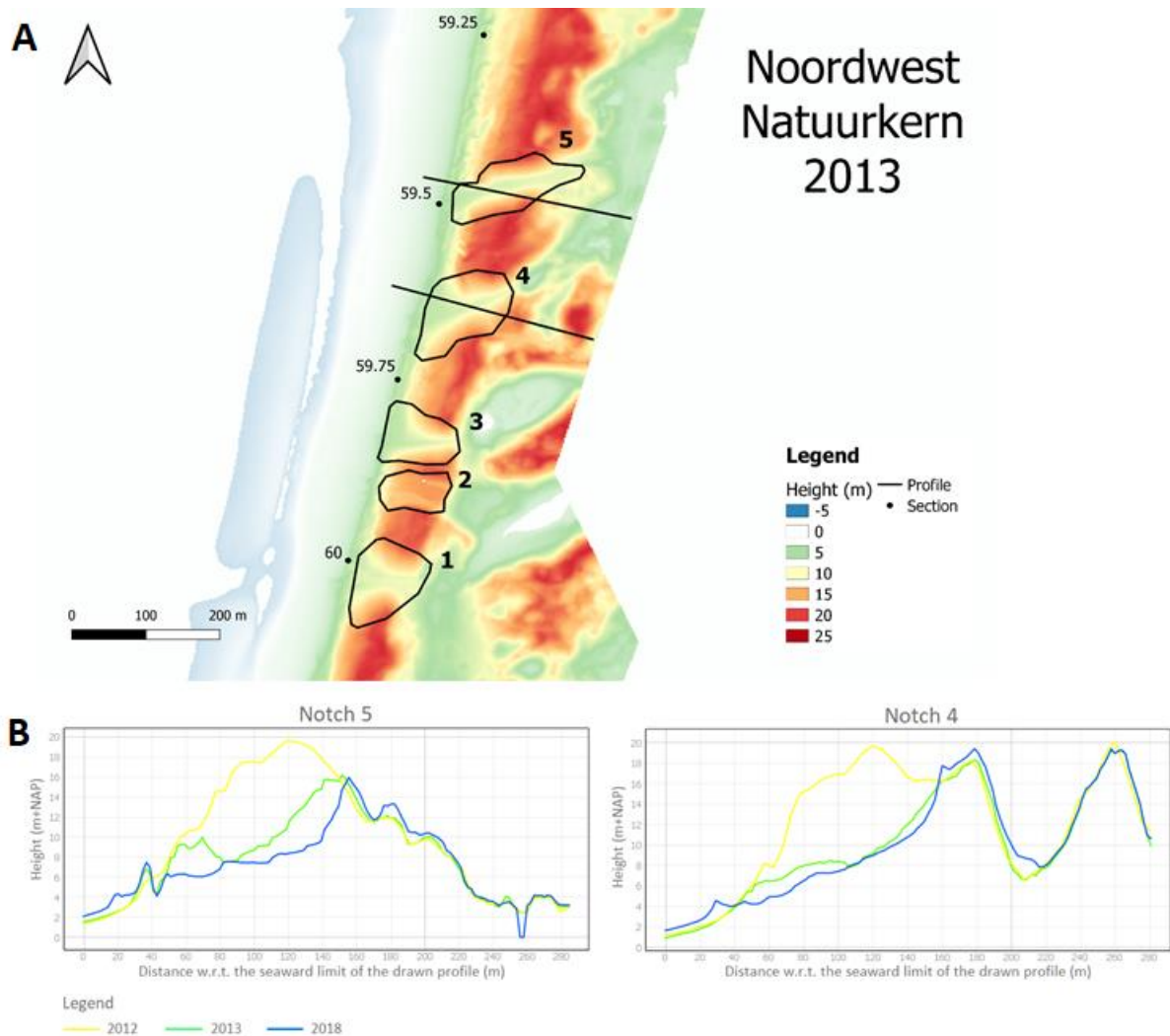


Figure 19. Overview of the selected notches of the NN project with A) the location and orientation of the drawn profiles and B) the cross sections of the profiles.

The volume of deposition differs in scenarios depending on upper or lower boundary deposition. Upper boundary deposition (scenarios 1&2) will be simulated by taking the full amount of sand that is eroded from the notch and deposit it further landward as to replicate possible deposition into the cross-shore profile of another notch located nearby (Table 4). The cross sections in Figures 18 and 19 show that the deposition is actually about 1/3 of the notch erosion. This factor will, therefore, be used to replicate lower boundary deposition (scenarios 3&4) (Section 3.3). The placement of the deposition will be done in the shape of a parabola as well, of which the shape is determined by two factors:

1. The length of the deposition zone
2. The eroded volume

The data needed was obtained from the cross sections of the notches of project Noordvoort and is shown in Table 6. The volume of the removed parabola (the eroded volume) was obtained through MorphAn. First, data on the onset of the notch was gathered, since the onset is not part of the natural development trend of the notch, but man-induced during construction. The associated deposition in the first year will not be included, because the obtained sand from notch construction is not returned to the foredune.

Second, the trend of development was calculated by taking the difference between length and depth 5 years later. A trend over a longer period could not be calculated, because the notches have been active for 6 years. In the case of notch 4 and 5 of the NN project, only the current (2019) length and depth of the notch and length of the deposition were needed. This is because notch development will be initially based on the notches of project Noordvoort and will transition into the NN notches based on a sand balance (Table 4). The data on notch 4 and 5 is given in Table 7.

Table 6. Data on the onset and development of notch 5, 9 and 11 of project Noordvoort obtained from cross sections.

Notch	Onset (2014)		Year 6 (2019)			
	Length (m)	Max change in depth (m)	Change in length seaward (m)	Change in length landward (m)	Change in max depth (m)	Deposition length (m)
5	22	2	11	12	6	38.5
9	43.5	1.5	2	9	8	59
11	43	2	(-)10	0	7	39
Average	36	2	1	7	7	46

Table 7. Data on the length, depth and deposition of notch 4 and 5 of the NN project in 2019 obtained from cross sections.

Notch	Length (m)	Depth in profile (m)	Deposition length (m)
4	120	8	70
5	113	10	70
Average	116.5	9	70

3.4.4. Sand transport through the notch

The direct transportation of sand from the beach towards the inner dunes, depends on the presence of a notch in the foredune that is open to the beach. Ruessink et al. (2018) have already established that the notches in the NN facilitate passage for about 75% of the wind-blown beach sand (Section 2.2). This translates into about 8.25 m³ per year of the 11 m³ per year obtained in Section 3.4.2. In the large-scale scenarios, this amount will be deposited in the deposition zone of the notch found in Table 7 when the notch reaches inactivity as assumed in Table 4. The remainder of 2,75 m³ per year will then be deposited equally over the area between 3 and 14m NAP, which was identified in Section 3.4.2.

It was not clear if the small-scale notches of project Noordvoort act as a conduit for sand as well (Section 2.2). For this purpose, the combined erosion and deposition of notch 8 and 9 over the last five years were compared in QGIS. It was found that the combined erosion is larger than that of the combined deposition. It can therefore be concluded that the notches do not act as a conduit for sand from the beach at this scale and stage of development. This is not surprising because the notches were not connected to the beach. In the small-scale scenarios, the 11 m³ per year will, thus, be deposited in the area between 3 and 14m NAP over the whole period.

3.5. Assessment input

Using the scenarios, assumptions and the collected data, the sequences of cross-shore profiles, shown in Figure 20 and 21, were made in MorphAn. The scenarios range up until 2093. This has to do with the range of the sea-level rise scenarios (2100) and the time steps taken between the final profiles (10 years). Each scenario has been simulated by creating a new cross-shore profile for each time step through manual adjustments of the profile made in the previous time step. For every time step, first, the foreshore and beach were heightened according to sea-level rise. Second, sand was added to the dunes and, lastly, the notch erosion and deposition were placed.

The time steps that were taken are based on notch evolution and are, therefore, highly dependent on the assumptions made in Table 4. The onset is simulated into the profile that represents 2021 in all scenarios, because notches are not expected to be initiated as early as this year (2020). Then a time step of five years (2026) is taken to represent the current average shape, length and depth of the selected notches of project Noordvoort (Section 3.4.3). For small-scale scenarios 1 and 3, notch development is halted in this year based on the assumption concerning cycling track deposition (Table 4). In Figure 20 and 21, it can be observed that the accumulation at the leeside of the dune in the following years stops because of this as well.

Next, a time step of two years is taken (2028) as this year marks the transition for large-scale scenarios 2 and 4 between notch development following the notches of project Noordvoort and that of the notches of the NN project based on the assumption concerning notch depth (Table 4). In order to provide a time-scale for the flattening of the notch, an assumption about a balance between deepening and flattening was made in Table 4. By using the volume development model within MorphAn, it was calculated that fifteen years would be needed to flatten the notch in scenario 2 and 4 to replicate the shape and length of the notches of the NN project.

After 2043, time steps of ten years were taken based on the assumption that the simulated large-scale notch would become inactive and would not erode anymore (Table 4). In these years the assumption made about the transport of sand from the beach through the notch is valid as well and the continued landward deposition in scenario 2 and 4 is a result of this (Table 4; Fig. 20 & 21). As a result, the accumulation at the face of the foredune in these years is also less than that in scenario 1&3 (Section 3.4.4; Fig. 20 & 21). Although the major differences in the profiles are dependent on large-scale vs small-scale notch development, upper and lower boundary conditions are seen to cause a significant difference in deposition on the leeside of the foredune between scenarios 2&4, but also between scenarios 1&3 (Fig. 20 & 21). Sea-level rise only has impact on the volume of sand added to the foreshore and beach which, therefore, only slightly differs between scenarios A and B at this location.

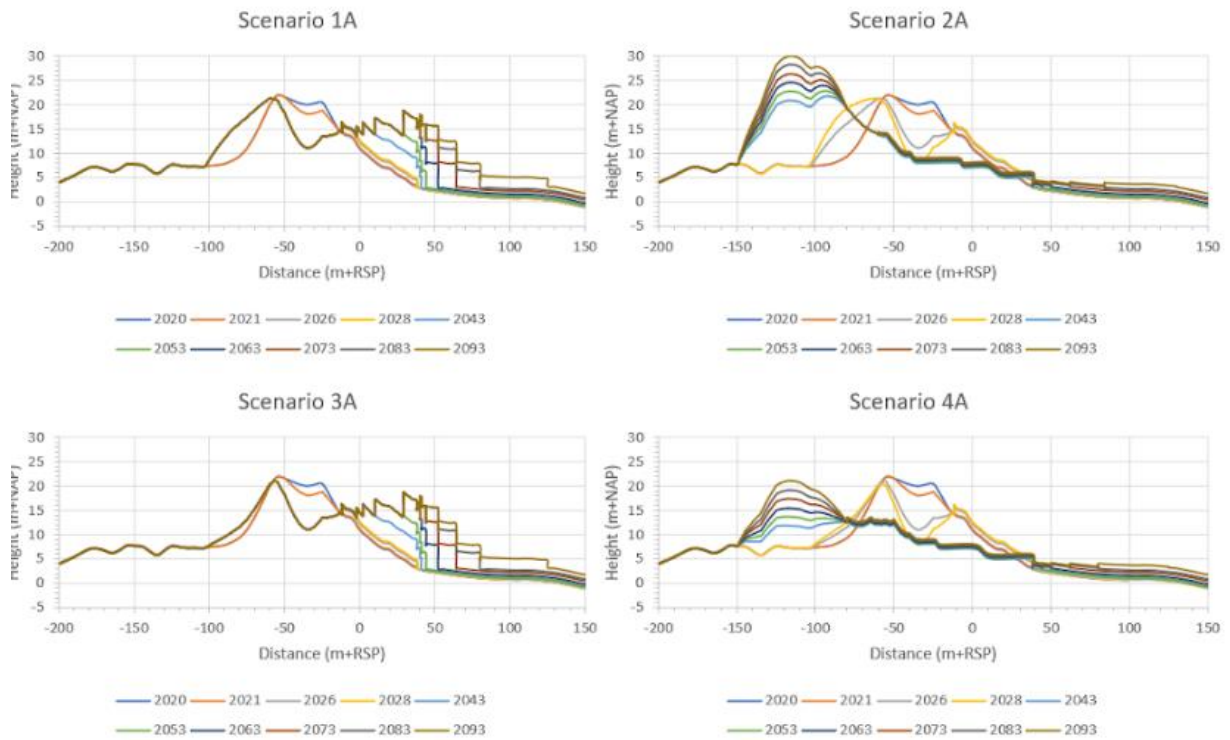


Figure 20. Scenarios for morphological development of section 6850 under sea-level rise scenario A up until 2093.

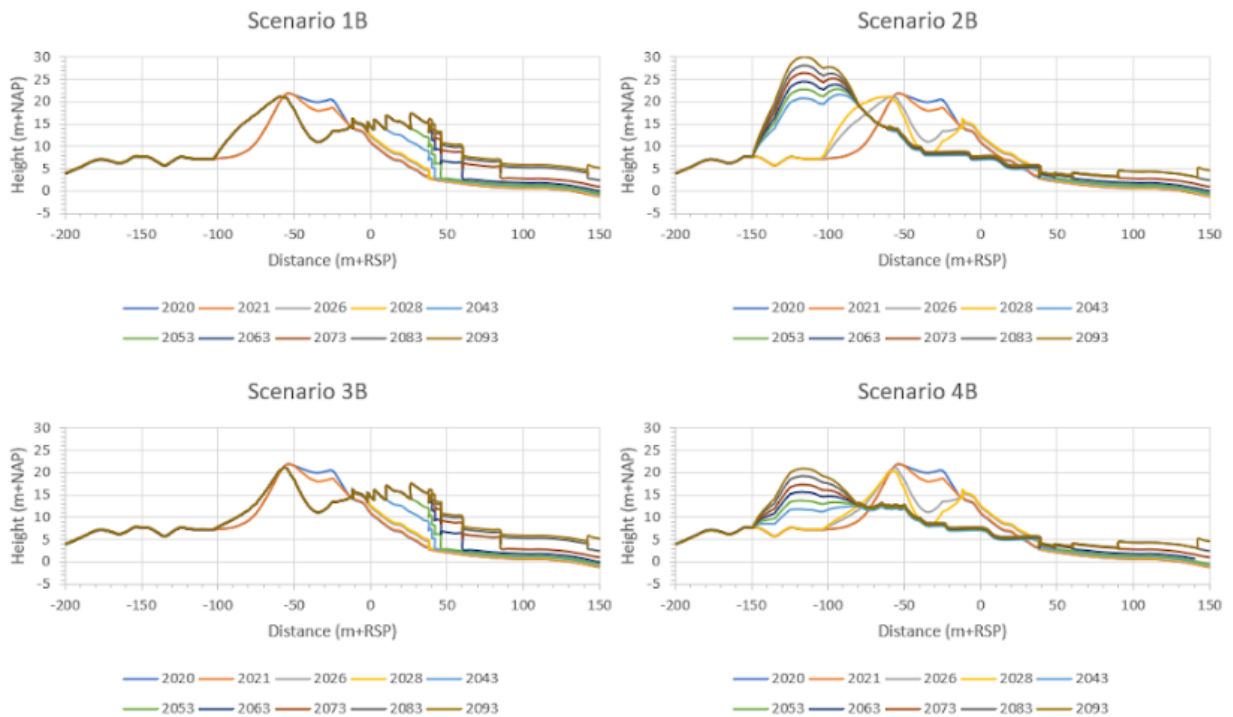


Figure 21. Scenarios for morphological development of section 6850 under sea-level rise scenario B up until 2093.

3.6. Assessment of interests

3.6.1. Safety

The profiles that were made to form the scenarios will be used as input for the assessment of safety. Each profile made will be run through the dune safety model in MorphAn. The dune safety model has been run with specific hydraulic conditions for section 6850 including the significant wave height (HS), wave period (TP), water level (RP) and measure for grain size (D50), as shown in Table 8. These are the values as of 2019 calculated following the Wettelijk Beoordelinginstrumentarium (WBI) (WBI, 2017). Of these conditions, only the water level (RP) has been increased every time step following either sea-level scenario A or B (Section 3.4.1). The other conditions are not expected to change significantly through time (Section 2.1.1).

Table 8. The specific hydraulic conditions for section 6850 used to run the dune safety model.

Kustlocatie	HS (m)	TP (s)	RP (m+NAP)	D50 (µm)
Rijnland – 6850	9.14	15.6	5.91	195

The boundary profile was specified following the Technisch Rapport Duinafslag (ENW, 2007). The slope of the binnentalud was set as 1:3 instead of the general 1:2, because it is more in agreement with a natural dune slope (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2013). The resulting volume of the boundary profile with which the dune safety model was run is 65.02 m³/m. With the change of the water level each time step, the shape of the boundary profile was automatically adjusted within MorphAn to fit the change in conditions.

3.6.2. Ecology and infrastructure

The scenarios in Figure 20 and 21 will not only be assessed through MorphAn in terms of safety, but also in terms of ecology and infrastructure (Section 2.4). The assessment of the effect on habitat development in the study area is based on Natura2000 legislation, since in terms of PAS and NNN, an increase in sand drift is seen as a positive development (Section 2.3.2). It was established that a deposition of sand on grey dune habitat exceeding 0.04 m/yr would already be seen as violation of the legislation (Section 2.3.2). Habitat loss due to a measure can, however, be rectified if the measure is proposed in order to return the lost habitat with increased quality in the long-term (van der Hagen, personal communication). Therefore, to assess the effect of the scenarios in terms of Natura2000 legislation, first, the amount of grey dune that is converted to white dune habitat is calculated (i.e., more deposition than 0.04 m/yr). Then it is assessed if this conversion will be permanent by studying if deposition on the area continues. If the conversion is not permanent, it can be assumed that the grey dune habitat that is returned is rejuvenated and, thus, of higher quality

For the assessment, the habitat map of the study area in Figure 22 is used. To be able to correlate the deposition within the profiles with the location of habitats, the location of section 6850 with important distances in the profiles in meter RSP were included in the map. In terms of the cycling track, a continuous deposition of more than 1 m/yr is seen as too much to handle and the cycling track should be moved all together (Table 4), whereas the gas pipe should not become exposed by erosion, or buried to such an extent that the pipe becomes unreachable for maintenance (Section 2.3.1). For the assessment, the location of the cycling track and gas pipe in terms of meter RSP found in Section 2.3.1 (i.e., 92 to 94m -RSP and 100m -RSP) will be correlated with the profiles in Figures 20 and 21.

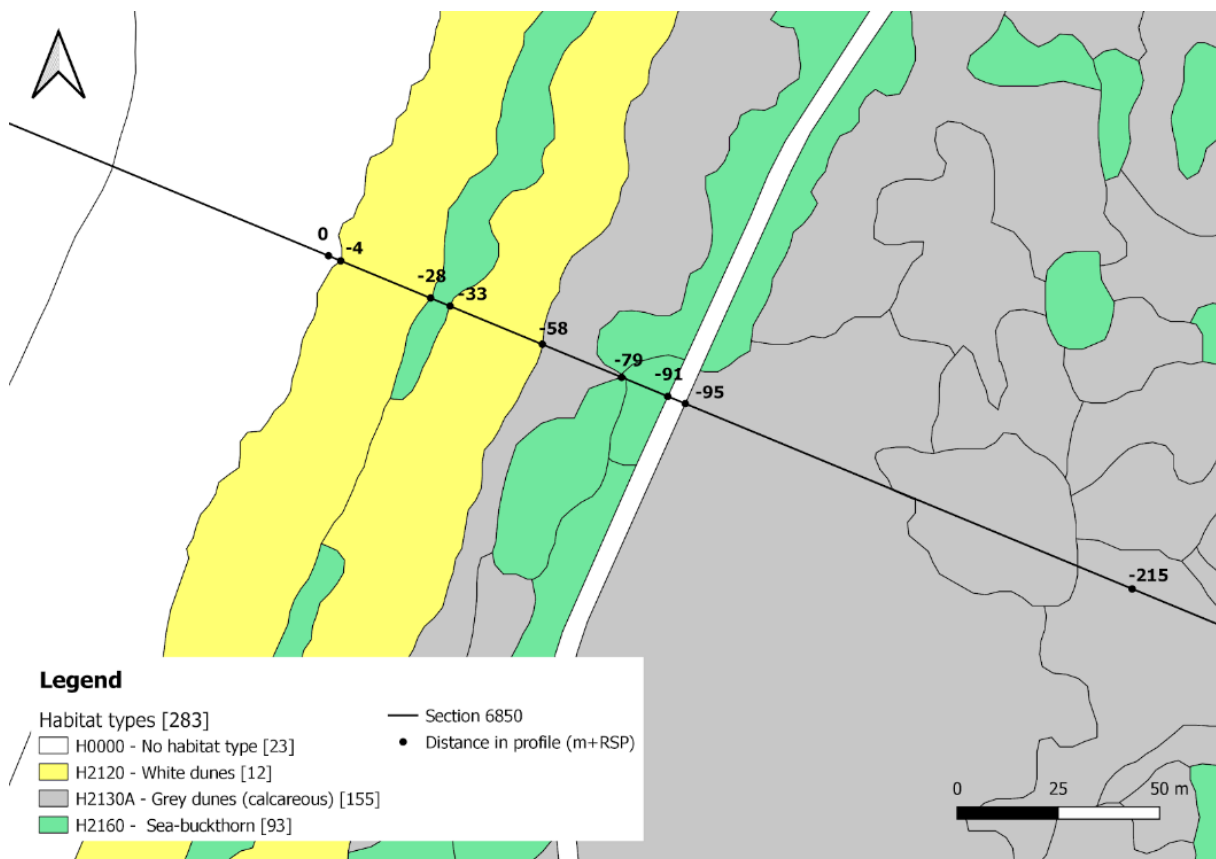


Figure 22. Clipped habitat map that shows the location of the three different types of habitats within the vicinity of section 6850, adapted to show section 6850 and the distance in RSP. This map has been clipped out of the most recent habitat map obtained through a contact at Waternet. However, it has to be noted that this habitat map has not yet been formally verified.

4. Results

4.1. Safety

The output of the dune safety model in terms of erosion has been displayed in Table 9 and 10. The boundary profile fits into the dune in all the profiles made, which implies that the dune within section 6850 can be regarded as safe in all scenarios up to the year 2093 (Section 3.2). What stands out is that the erosion (A volume) in all scenarios shows an overall decline, which can, thus, not be a consequence of the difference in notch evolution. This can be explained to be due to the assumption on nourishment (Table 4). As the amount of sea-level rise is anticipated in every profile through extra nourishment, the foreshore/beach increases as compared to the water level with every time step. Erosion volumes will, therefore, decline throughout the years.

Table 9. The erosion volume (A volume) for the A scenarios per time step as calculated with the dune safety model in MorphAn.

	Scenario 1A	Scenario 2A	Scenario 3A	Scenario 4A
Year	A Volume (m3/m)	A Volume (m3/m)	A Volume (m3/m)	A Volume (m3/m)
2020	644	644	644	644
2021	627	627	627	627
2026	557	557	555	555
2028	552	518	550	513
2043	584	345	584	283
2053	593	311	593	264
2063	591	265	591	235
2073	541	208	541	190
2083	450	140	450	129
2093	310	86	310	65

Table 10. Table 11. The erosion volume (A volume) for the B scenarios per time step as calculated with the dune safety model in MorphAn.

	Scenario 1B	Scenario 2B	Scenario 3B	Scenario 4B
Year	A Volume (m3/m)	A Volume (m3/m)	A Volume (m3/m)	A Volume (m3/m)
2020	644	644	644	644
2021	621	621	621	621
2026	545	545	543	543
2028	539	505	537	501
2043	567	332	567	274
2053	574	294	574	251
2063	537	236	537	211
2073	430	155	430	143
2083	239	60	239	50
2093	43	43	43	52

In Table 9 and 10, it can be observed that the erosion (A volume) in the scenarios with small-scale notch development (1&3), is considerably larger than that in the scenarios with large-scale notch development (2&4) after 2028. This is the year in which notch development is halted in the small-scale scenarios, while the notch transitions into large-scale in the large-scale scenarios (Section 3.5). An explanation for this is that in the small-scale scenarios, the sand only accumulates at the front of the foredune after this period (Section 3.5), implying that it will be eroded during a major storm (Fig. 23A). In the large-scale scenarios, the sand is deposited landward of the foredune (Section 3.5), where it is not susceptible to erosion during a storm (Fig. 23B). Although in the B scenarios this same observation can be made, in the last year (2093), the erosion volumes are the same (Table 9&10). This is again due to the extra nourishment done, as in the year 2093, erosion is compensated to such an extent at the foreshore and beach that the location of dune accretion does not matter anymore.

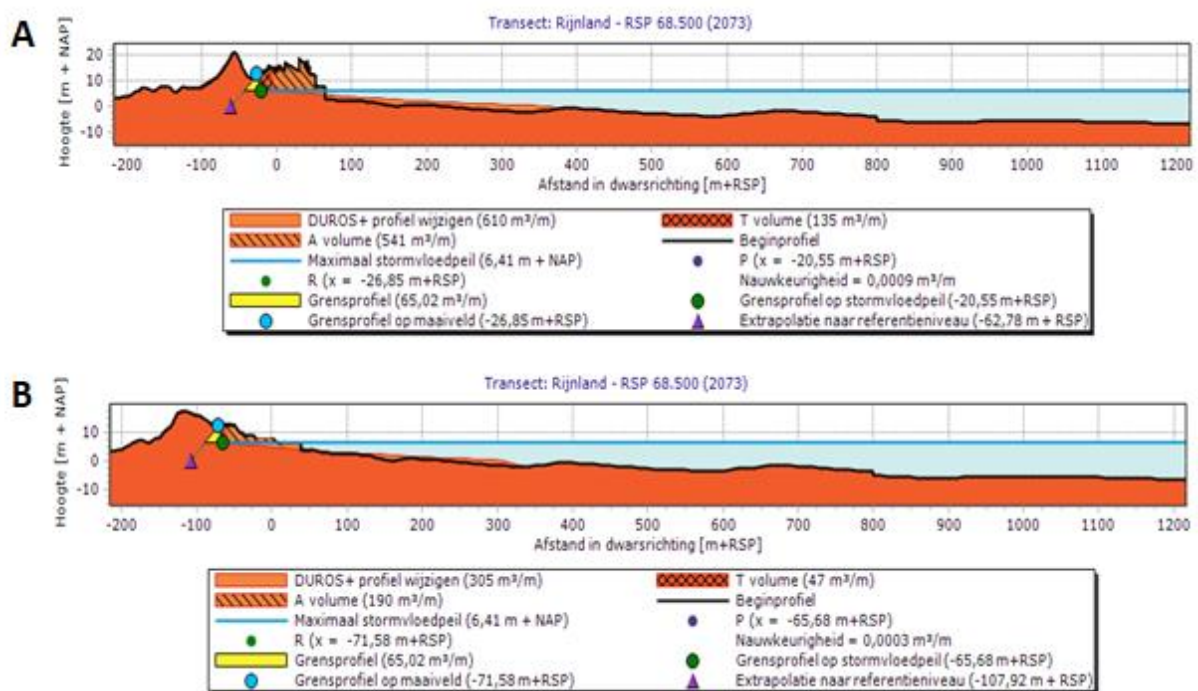


Figure 23. The output of the dune safety model for the profiles made in 2073 of A) scenario 3 and B) scenario 4.

A significant difference in erosion volume as a consequence of upper or lower boundary deposition is not seen in Tables 9 and 10. This was to be expected as inland deposition is not affected by erosion. The nourishment volume added to the foreshore and beach and the amount of sea-level rise per time step are shown in Table 12. To avoid confusion about the interpretation of the contents in this table, the nourishment of 38 m³/m in the profile of 2026 in the B scenarios, for example, is to compensate for the period from 2021 to 2026. In the B scenarios, nourishment volumes are larger to compensate for the higher rate of sea level rise. The total volume of nourishment that is to be provided at the end of the period are 2137 m³/m and 4128 m³/m for the A and B scenarios, respectively (Table 12). The latter value is, thus, almost twice as high. If the calculated nourishment volumes over the last 10 years (2093) are passed on to the total 317 kilometres of nourished coast, the volumes translate into respectively 17 Mm³ and 46 Mm³ on average per year.

Table 12. The amount of sea-level rise and the associated volume of nourishment added to the profiles in the A and B scenarios per time step.

Year	A scenarios		B scenarios	
	RP (m+NAP)	Nourishment volume (m ³ /m)	RP (m+NAP)	Nourishment volume (m ³ /m)
2020	5.92	8	5.94	23
2021	5.92	8	5.96	38
2026	5.96	38	5.97	46
2028	5.98	53	5.98	53
2043	6.10	145	6.12	160
2053	6.20	220	6.26	265
2063	6.30	295	6.46	415
2073	6.41	374	6.80	659
2083	6.53	456	7.32	1008
2093	6.66	540	8.13	1461
Total		2137		4128

4.2. Ecology

Sea-level rise does not affect inland sand drift in the simulated scenarios due to the assumptions made (Table 4). Therefore, only the development of the notch in the profile is of influence on habitat development. In the scenarios with small-scale notches (1&3), sand deposits in the first 5 years (2021-2026) in the area between 57 and 103m -RSP (Fig. 20&21). In Figure 22, it can be observed that this area encompasses 16 meters of H2160 (sea-buckthorn) and in total 29 meters of H2130A (grey dunes). In the scenario with upper boundary deposition (scenario 1), a total volume of 196 m³/m is deposited once the small-scale notches have fully developed in 2026. In the scenario with lower boundary deposition (scenario 3), this volume is 65 m³/m. In both small-scale scenarios, notch development and thus sand drift is halted for the remainder of the simulated years. Therefore, it can be stated with certainty that the measures taken in these scenarios will lead to only a temporary conversion of the mentioned habitat types to H2120 (white dunes). For scenario 1 this will take longer than for scenario 3 as a consequence of the larger deposited volume.

In the scenarios with large-scale notch development (2&4), sand deposition equals that of small-scale notch development (1&3) in the first 5 years, but continues for the remainder of the simulated years (Fig. 20&21). The area over which the sand is deposited also becomes larger. From 2026 to 2028, sand is deposited from 60 to 106m -RSP with a volume of 91 m³/m in the scenario with upper boundary deposition (scenario 2), while 30 m³/m is deposited in the scenario with lower boundary deposition (scenario 4). Then, when from 2028 to 2043 the notch becomes large-scale, the deposition zone shifts to between 80 and 150m -RSP (Fig. 20&21). In this period, 605 m³/m in scenario 2 is added and 202 m³/m in scenario 4. For the remainder of simulated years, deposition on the area continues with 8.25 m³/m/y in both scenarios.

The deposition zone encompasses the 16 meters of H2160 (sea buckthorn) as well, but extends 76 meters into H2130A (grey dunes) (Fig. 22). Until 2043, the year in which the notch no longer erodes but solely serves as a conduit for inland transport, these habitats will be converted to H2120 (white dunes). After this period, deposition continues in the zone with around 0.12 m/m²/y. This is higher than the maximum of 0.04 m/y determined and, thus, too high for H2130A to return (Section 3.6.2) The current habitat types in the area will ,therefore, be permanently converted to H2120, at least for the period simulated and under the assumptions made.

4.3. Infrastructure

Similar to ecology, other interests are also not affected by sea-level rise in the simulated scenarios. Within the development of the scenarios with small-scale notches (1&3), deposition on the cycling track was already accounted for in 2026 through an assumption made (Table 4). In this year, the deposition ranges until 103m -RSP (Fig. 20&21). On the cycling track (92 to 94 m -RSP in section 6850), 6 meters of sand is deposited after 5 years in the scenario with upper boundary deposition (scenario 1), while in the scenario with lower boundary deposition (scenario 3), the deposition is only 1 meter. In scenario 1, an average of more than 1 m per year is deposited, which is too much based on the assumption made on cycling track deposition. Therefore, notch development was halted (Section 3.5). The same was done in scenario 3 to remain consistent. Besides the removal of the sand located on the track in the years towards 2026, no further measures have to be taken regarding deposition on the cycling track and gas pipe.

In the scenarios with large-scale notches (2&4), the deposition area, which ultimately ranges up until 150m -RSP, completely covers the cycling track and gas pipe (Fig. 20&21). Sand is continuously deposited on the infrastructure throughout the whole simulated period. The sand located on the cycling track at the end of the period amounts to about 27 meter and 18 meter in scenario 2 and 4, respectively (Fig. 20&21). The deposition zone reaches inland to such an extent and with such height that there is no other option than to ultimately relocate the cycling track and gas pipe around section 6850 when a notch develops on a large-scale.

5. Discussion

5.1. Results

The results have shown that section 6850 can be regarded as safe throughout all scenarios. However, large-scale notch development was proven to contribute most to long-term safety of the section, as it supports a larger effective dune volume and, thus, more resilience. This being due to the conduit of beach sand inland where it is not susceptible to erosion during major storms (Section 4.1). In the case of small-scale notch development, wind-blown beach sand is deposited in front of the foredune and may even form a new foredune (Fig. 20&21). This does imply, however, that it is largely eroded during a major storm (Section 4.1). Furthermore, under both upper and lower boundary deposition, safety is maintained in the section (Section 4.1). This means that even if 2/3 of the sand from the notch is deposited in another section due to wind dynamics, the development of both a small-scale and large-scale notch in section 6850 can safely transpire. Although there is no significant difference in erosion volume (Section 4.1), the effective volume within the section specifically is, not surprisingly, larger with upper boundary deposition. The word specifically is used here, because even though the sand that eroded from the notch is not fully deposited in section 6850, it should be kept in mind that it is not lost as it contributes to the resilience of sections where it does end up being deposited.

In terms of nourishment, Haasnoot et al. (2018) stated that nourishment under accelerated sea-level rise could amount to 20 times the size of those currently done (12 Mm³/y). Over the last years of predicted accelerated sea-level rise, the volume of nourishment was calculated to be an average of 46 Mm³/y in this study (Section 4.1). This is only about 4 times the size of current volumes. The inconsistency with the predictions made by Haasnoot et al. (2018) can be explained through the difference in area that is accounted for. Haasnoot et al. (2018) predicted this number based on the compensation of the whole coastal foundation (20m -NAP to the inner dunes), while in this study solely the area between -5 to 3m +NAP is compensated. However, this proves that even with a smaller area being compensated for sea level rise and, thus, a smaller amount of nourishment, safety can be maintained given the present assumptions.

Although the large-scale development of notches was found to provide the most resilience to future conditions, this must be considered against other interests in the study area. The cycling track and gas pipe will have to be moved past the 150m -RSP point that marks the end of the deposition zone given the present assumptions (Section 4.3). Within the study area, this is solely the case in the simulated section (6850). Approximately 400 meters of cycling track and gas pipe will have to be moved about 100 meters backwards to align with those in other sections (Fig. 10). If this is to be done, it is better to do this in an early stage to avoid the continuous costs associated with the removal of sand. If relocation is not deemed possible, the choice can be made to keep notches small-scale around section 6850 (e.g., by planting marram grass in the notch floor), while large-scale notch development can be allowed in the other parts of the study area. Besides, when a large-scale notch develops instead of a small-scale notch in section 6850, 47 more meters of H2130A will be converted to H2120 (Section 4.2). It is, however, difficult to translate this number into a number that also represents the horizontal component of the spread due to the cross-shore nature of the calculations done. On top of this, it can be debated if habitat conversion will ever be permanent (Section 2.3.2). The accretion within a notch will eventually trigger the closure of the notch and cause the notch to become completely inactive (Schwarz et al., 2019). Even as a conduit for sand from the beach. The habitat will, thus, eventually be returned to H2130A.

5.2. Uncertainties

In this study, the factors of influence on the morphological evolution of the coast under active dynamic foredune management were summarized in Section 2.4. However, not all uncertainties were considered in the formation of scenarios (Section 3.3). Although assumptions have been made to cover as much of the uncertainty around nourishment in the scenarios (e.g., amount, placement and frequency), more scenarios could be made to explore the potential impact of the uncertainties on the development of the coast and associated safety. It would, therefore, be recommended to, for example, look into the effects of equal heightening with sea-level rise of the foreshore and beach or even no heightening.

The same is true for notch evolution. There is a lot of uncertainty about notch development, especially on longer time scales (Section 2.2). As a result, the evolution of a notch is heavily dependent on the assumptions made (Table 4). Therefore, uncertainties around notch development might have impacted the results considerably. Instead of the approach used in this study, using observations from two similar coastal sections, future research could be based on a more probabilistic approach. Notch development along the whole Dutch coast could be compared to find a fixed range within which a notch is likely to develop. To find some sort of regularity perhaps.

Besides, the effect of pavilions on sand drift and notch development was not included as it would require local data from the study area, which is not available and out of the scope of this research. As section 6850 is not likely to be directly influenced by a pavilion, an impact on the results in this study is not likely (Fig. 10). Nevertheless, the effect of pavilions should be considered when constructing notches in other sections in the study area. Lastly, changes in precipitation, wind and hydraulic conditions as a result of climate change were not found to be significant enough to be used in this study (Section 2.1). However, their specific future patterns and effect is still uncertain and should be further researched. Especially, their effect on and combined with vegetation growth. Vegetation was not included in the scenarios, although, it can significantly effect sand drift and notch development through sand entrapment (Section 2.1.1&2.2).

The cross-shore orientation of the profiles made in MorphAn could have provide a distorted picture, because long-shore processes cannot be directly observed (Section 2.1). For example, data for notch evolution was based on cross-shore profiles of the notches of Noordvoort and the NN to match the orientation in MorphAn (Section 3.4.3). However, if the profile would have been drawn through the centre of the notch, the length of the notches and associated deposition zone is greater (Fig. 18&19). This means that if a notch develops in section 6850 following the scenarios in this study, a few meters around the section, the notch and deposition length could reach further inland. This could have consequences for safety and infrastructure. Furthermore, interactions between the foreshore, beach and dunes were to be simulated manually. These interactions could not all be accurately represented. For example, even though an influx of sand was simulated towards the dunes in each profile, sand from the beach was not removed to compensate.

Overall, the uncertainties around beach-dune and notch development in the scenarios is partly a consequence of the lack of capability of the model used. Ideally a model is required that is able to simulate the interactions between the shoreface, beach and dunes when met with both changes in climate and management practices, while being able to portray effects on morphological development, habitat development and coastal safety. Such a model does, however, not exist yet. A model called DuneForce should be able to live up to these requirements, but this model is still under development and is expected to be released in 2023 (Research Projects, n.d.).

6. Conclusion

At the beginning of this thesis, the following main research question was posed:

What form of active dynamic foredune management of the coast can provide safety in sections 6775 to 7025 in the short- and long-term, while optimizing natural benefit, but without jeopardizing the social and economic environment?

Following a literature review on the possible measures, the influencing factors and the uncertainties involved, eight scenarios were developed that differed in the type of measure (small versus large-scale dynamics) and the rate of sea-level rise. In all developed scenarios, safety of the most vulnerable section (6850) is maintained. The development of large-scale dynamics, that is, with notches that facilitate direct aeolian transport from the beach into the inner dunes, results in a lower volume eroded during major storms (1:30000), than small-scale notching, in which such a sand influx is not present. This is because inland deposition is unaffected by major storms and will, therefore, result in increased resilience.

On the flip side, the excessive and continued deposition that goes accompanied with large-scale development in section 6850 may result in more and longer-lasting habitat conversion and the necessary relocation of the cycling track and gas pipe. It is, however, also possible to restrict notches to small-scale specifically in the area where infrastructure is located close to the foredune (section 6800 to 6875). What to ultimately decide, depends on the trade-off between increased resilience, habitat conversion and the disruption and costs associated with the relocation of the cycling track and gas pipe.

The exact morphological beach-dune development through time depends, however, on the assumptions made for notch development and nourishment volume. For future work, it would therefore be recommended to adopt a probabilistic approach to notch development and explore more scenarios for nourishment. Nonetheless, the present study has provided insights on the future of active dynamic foredune management in a weaker link of the coast, from which opportunities for this type of management in other sections of the coast might arise.

7. References

Aanpak Stikstof (n.d.). Over de uitspraak van de Raad van State. Retrieved from <https://www.aanpakstikstof.nl/achtergrond/de-stop-op-het-programma-aanpak-stikstof>

Amsterdamse Waterleidingduinen (n.d.). Hoe het duin het water zuivert. Retrieved from <https://awd.waternet.nl/beleef/waterzuivering/>

Arens, S.M. (2018). Project Noordvoort: Monitoring Geomorfologie 2013-2017, Eindrapport. Waternet.

Arens, S. M. (2019). Advies voor verstuingen zeeduinen en zeereep AWD in het kader van de PAS. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek.

Arens, S. M., Mulder, J. P., Slings, Q. L., Geelen, L. H. W. T., & Damsma, P. (2013). Dynamic dune management, integrating objectives of nature development and coastal safety: Examples from the Netherlands. *Geomorphology*, 199, 205–213. doi: 10.1016/j.geomorph.2012.10.034

Arens, S. M., van Puijvelde, S. P., & Brière, C. (2010). Effecten van suppleties op duinontwikkeling; geomorfologie. Rapportage fase 2. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Deltares RAP2010.03 in opdracht van Directie Kennis, LNV, 141 pp + bijlagen

Arens, S. M., & Wiersma, J. (1994). The Dutch foredunes; inventory and classification. *Journal of Coastal Research*, 10, pp. 189-202

Bars, D. L., Drijfhout, S., & Vries, H. D. (2017). A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. *Environmental Research Letters*, 12(4), 044013. doi: 10.1088/1748-9326/aa6512

Bij12 (n.d.). N08.02 Open duin. Retrieved from <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/n08-open-duinen/n08-02-open-duin/>

Bleich, E., & Pekkanen, R. (2019). 4. How to Report Interview Data. *Interview Research in Political Science*, 84–106. doi: 10.7591/9780801467974-007

Borsje, B. W., Vries, S. D., Janssen, S. K., Luijendijk, A. P., & Vuik, V. (2017). Building with Nature as Coastal Protection Strategy in the Netherlands. *Living Shorelines*, 137–156. doi: 10.1201/9781315151465-10

Broekmeyer, M.E.A., & Pleijte, M. (2016). Kansen en knelpunten bij de uitvoering van de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn; Zestien Nederlandse casussen in het licht van de Fitness Check en de ambities uit de Rijksnatuurvisie. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre)

Carter, R. W. G., & Stone, G. W. (1989). Mechanisms associated with the erosion of sand dune cliffs, Magilligan, Northern Ireland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.1002/esp.3290140102>

van Dansik, J. (2016). Evaluatie Kustnota 2010 - 2015. Hoogheemraadschap van Rijnland.

Delta Expertise (n.d.). Waterschap Scheldestromen. Retrieved from https://www.zeeweringenwiki.nl/wiki/index.php/Waterschap_Scheldestromen

- Deltares (2017). MorphAn 1.6.0.0, Gebruikershandleiding.
- Deltares (n.d.). MorphAn Home. Retrieved from <https://oss.deltares.nl/web/morphan/home>
- ENW. (2007). Technisch Rapport Duinafslag, Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van Voorschrift Toetsing op Veiligheid 2006 (TRDA2006). Drukkerij Lecturis, Eindhoven.
- European Commission (n.d.). Natura2000. Retrieved from https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm
- de Groen, F., van Zelst, V., van der Valk, L., & Arens, S.M. (2019). Natuurlijk Veilig door Kust- en Zeereepbeheer. Deltares.
- Groot, A. D., Vries, S. D., Keijsers, J., Riksen, M., Ye, Q. V., Poortinga, A., ... Vries, J. V. T. D. (2012). Measuring and modeling coastal dune development in the Netherlands. NCK-Days 2012 : Crossing Borders in Coastal Research : Jubilee Conference Proceedings. doi: 10.3990/2.178
- Haasnoot, M., Bouwer, L., Diermanse, F., Kwadijk, J., van der Spek, A., Oude Essink G., Delsman, J., Weiler, O., Mens, M., ter Maat, J., Huismans, Y., Sloff, K., & Mosselman, E. (2018). Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning. Deltares rapport 11202230-005-0002
- Haasnoot, M., Diermanse, F., Kwadijk, J., de Winter, R., & Winter, G. (2019). Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging. Een verkenning. Deltares rapport 11203724-004
- Hoogheemraadschap van Rijnland (2010). Kustnota. Deel I Visie en Doelstellingen.
- Hoogheemraadschap van Rijnland (2013). Ontwerp legger primaire kering gemeente Noordwijk.
- Hoogheemraadschap van Rijnland (2020). Bouwstenen voor WBP6.
- Hoonhout, B., van Thiel de Vries, J. (2013). Invloed van strandbebouwing op zandverstuiving. Tussenrapportage. Deltares, 1207724-000.
- IJff, S., Smits, B., van Zelst, V., & Arens, S.M. (2019). Natuurlijk Veilig - Landschapsvormende processen. Deltares.
- Keijsers, J. G. S., Giardino, A., Poortinga, A., Mulder, J. P. M., Riksen, M. J. P. M., & Santinelli, G. (2014). Adaptation strategies to maintain dunes as flexible coastal flood defense in The Netherlands. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(6), 913–928. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9579-y>
- van Koningsveld, M. V., & Mulder, J. P. M. (2004). Sustainable Coastal Policy Developments in The Netherlands. A Systematic Approach Revealed. *Journal of Coastal Research*, 202, 375–385. doi: 10.2112/1551-5036(2004)020[0375:scpdit]2.0.co;2
- van Koningsveld, M., Mulder, J. P. M., Stive, M. J. F., van der Valk, L., & van der Weck, A. W. (2008). Living with Sea-Level Rise and Climate Change: A Case Study of the Netherlands. *Journal of Coastal Research*, 242, 367-379. doi: <https://doi.org/10.2112/07A-0010.1>
- Lodder, Q., & Geer, P. V. (2012). MorphAn: A new software tool to assess sandy coasts. *NCK-Days 2012: Crossing Borders in Coastal Research: Jubilee Conference Proceedings*. doi: 10.3990/2.189

- Löffler, M., van der Spek, A. J. F., & van Gelder-Maas, C. (2011). Mogelijkheden voor dynamisch kustbeheer een handreiking voor beheerders. Deltares.
- Löffler, M., & van der Togt, R. (2018). Dynamiek in de kustzone: doelen en achtergronden op grond van bezoeken aan de regio's. Rijkswaterstaat.
- Martínez, M. L., & Psuty, N. P. (2008), *Coastal Dunes: Ecology and Conservation*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. Nordstrom, K. F., and S. M. Arens (1998), The role of human actions in evolution and management of foredunes in The Netherlands and New Jersey, USA, *Journal of Coastal Conservation*, 4(2), 169-180.
- Merkx, F., Versleijen, A., & van den Besselaar, P. (2007). Kustverdediging: wetenschap, beleid en maatschappelijke vraag. Den Haag, Rathenau Instituut SciSA rapport 0704
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (MIN V&W) (1990). Eerste Kustnota: Kustverdediging Na 1990. Ministry of Transport, Public Works & Water Management, The Hague, NL
- Mulder, J. P., Hommes, S., & Horstman, E. M. (2011). Implementation of coastal erosion management in the Netherlands. *Ocean & Coastal Management*, 54(12), 888–897. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2011.06.009
- Natuurmonumenten (n.d.). Aanpak stikstof in Nationaal Park Zuid-Kennemerland. Retrieved from <https://www.natuurmonumenten.nl/projecten/programma-aanpak-stikstof>
- Paskoff, R. P. (2003). Coastal dunes, ecology and conservation. *Journal of Coastal Conservation*, 9(2), 190. [https://doi.org/10.1652/1400-0350\(2003\)009\[0190:br\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1652/1400-0350(2003)009[0190:br]2.0.co;2)
- Provincie Noord-Holland (n.d.). Natura 2000 beheerplan Kennemerland-Zuid 2016-2022.
- Psuty, N. P., & Silveira, T. M. (2010). Global climate change: an opportunity for coastal dunes?? *Journal of Coastal Conservation*, 14(2), 153–160. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0089-0>
- Quataert, E., & Mastbergen, D. (2019). Beheerbibliotheek Rijnland: Beschrijvingen van het kustvak ter ondersteuning van het beheer en onderhoud van de kust. Deltares.
- Reinders, J., Van der Valk, B., Van der Meulen, F., (2014). Effecten van tijdelijke strandbebouwing op de ontwikkeling van de jonge zeereep (H2130: Wit Duin) aan de zeezijde van de Duincompensatie, Delflandse Kust. Deltares, 1206682-000-ZKS-0014.
- Research Projects (n.d.). Retrieved from <https://www.tudelft.nl/citg/over-faculteit/afdelingen/hydraulic-engineering/sections/coastal-engineering/staff/dr-ir-s-sierd-de-vries/research-projects/>
- Rijksoverheid (2018). Begrenzing van het Natuurnetwerk en de Natura 2000-gebieden. Retrieved from <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1425-begrenzing-van-het-natuurnetwerk-en-natura-2000-gebieden>
- Rijksoverheid (n.d.a). Beheer en onderhoud kust. Retrieved from <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/beheer-onderhoud/>
- Rijksoverheid (n.d.b). Morphan. Retrieved from <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/aanleg-onderhoud/aanleg-onderhoud/morphan/>

- Rijkswaterstaat (2009). Nationaal Waterplan 2009-2015.
- Rijkswaterstaat (2011). Nationaal Kader Kust: Naar een veilige, sterke en mooie Noordzeekust.
- Rijkswaterstaat & Stowa (2017). Waterveiligheid. Begrippen begrijpen.
- Ruessink, B., Arens, S., Kuipers, M., & Donker, J. (2018). Coastal dune dynamics in response to excavated foredune notches. *Aeolian Research*, 31, 3-17. doi:10.1016/j.aeolia.2017.07.002
- Salonga, S. (2019). Types of Transcription Explained: Verbatim vs. Intelligent vs. Edited Transcription. Retrieved from <https://www.globalme.net/blog/verbatim-vs-intelligent-vs-edited-transcription/>
- Schwarz, C., Brinkkemper, J., & Ruessink, G. (2019). Feedbacks between Biotic and Abiotic Processes Governing the Development of Foredune Blowouts: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(1), 2. doi: 10.3390/jmse7010002
- Stronkhorst, J., Huisman, B., Giardino, A., Santinelli, G., & Santos, F. D. (2017). Sand nourishment strategies to mitigate coastal erosion and sea level rise at the coasts of Holland (The Netherlands) and Aveiro (Portugal) in the 21st century. *Ocean & Coastal Management*, 156, 266–276. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2017.11.017
- de Vries, H. D., Katsman, C., & Drijfhout, S. (2014). Constructing scenarios of regional sea level change using global temperature pathways. *Environmental Research Letters*, 9(11), 115007. doi: 10.1088/1748-9326/9/11/115007
- Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) (2017, January 1). Consulted in 2020, obtained from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0039040/2017-01-01>
- Winter, R. C. D., & Ruessink, B. G. (2017). Sensitivity analysis of climate change impacts on dune erosion: case study for the Dutch Holland coast. *Climatic Change*, 141(4), 685–701. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1922-3>
- Wolters, H. (2009). Scenariomethoden voor waterbeheer, bodembeheer en ruimtelijke inrichting. Deltares, Rijkswaterstaat.
- de Zandmotor (n.d.). Feiten. Retrieved from <https://dezandmotor.nl/nl/de-zandmotor/vraag-en-antwoord/feiten/>

Appendix

Interview methods

Interviews were conducted as a way to orient around the topic and gather information for scenario formation, simulation input and output assessments. The interviewees were, therefore, chosen based on their ability to provide this information. On top of this, involvement with project Noordvoort was seen as a priority, since this project has been central in this research as an example for dynamization in the study area. Because management of the studied section and project Noordvoort is divided across Rijkswaterstaat, Rijnland and Waternet, it was found best to gather the needed information from spokespersons representing all three. However, Rijnland was excluded as information could be provided by Joost Veer, which supervised this thesis.

Petra Damsma was approached due to her involvement with Rijkswaterstaat and her knowledge in the areas of nourishment and ecology, whereas Maaïke Veer was approached due to her involvement with Waternet and project Noordvoort. To get an expert opinion on notch development within project Noordvoort and in general, Bas Arens was approached as well. In Table A1, an interview methods table was set up following Bleich & Pekkanen (2019), in which further information about the method of interviewing is provided.

The audio recordings made of each interview were transcribed using the intelligent verbatim transcription method (Salonga, 2019). This method was chosen, since the transcriptions would be published, which makes verbatim transcription not suited, but edited transcription was found unfit, because it introduces the risk of changing the actual message conveyed due to inexperience of the transcriber (Salonga, 2019).

Table A 1. The interview methods table as conform to Bleich & Pekkanen (2019).

Interview	Status	Source	Format	Length	Recording
Petra Damsma	Conducted through phone 3/24/2020	Referred by Stefan Pluis	Semi-structured	52 min	Audio recording & notes
Maaïke Veer	Conducted through phone 3/26/2020	Referred by Joost Veer	Semi-structured	37 min	Audio recording & notes
Bas Arens	Conducted through Skype 4/1/2020	Referred by Joost Veer	Semi-structured	49 min	Audio recording & notes

Interview transcripts

Interviewer: Sanne Wesseling (SW)
Interviewee: Petra Damsma (PD)
Date and time: March 24th 2020 14:00
Communication tool: by phone

09:02 SW: In het kader van Natuurlijk Veilig is een onderzoek gedaan naar de invloed van suppleties en beheer op dynamiek in de zeereep. Daarin stond geschreven dat er geen duidelijk verschil was gevonden in de volumeverandering van de zeereep als het gaat om het uitvoeren van vooroever of strandsuppleties. Dit klopt toch?

09:31 PD: Ja, dat klopt.

09:34 SW: Dan is mijn vraag eigenlijk: Is dat een goed uitgangspunt om te nemen in mijn onderzoek of kunt u misschien toelichten waarom het wel belangrijk is om deze twee types uit elkaar te houden wat betreft volumeverandering?

09:47 PD: Dat heeft te maken met de tijdschaal waarop je wilt kijken denk ik, want deze conclusie is gebaseerd op dat we veel meer op systeemniveau wilden kijken, dus de lange termijn, en of er nou echt veranderingen in het systeem zijn opgetreden. Er zijn stukken van de kust waar we veel meer strandsuppleties doen, zoals in de delta, en stukken waar we veel meer vooroeversuppleties doen, zoals in Noord - Holland. Maar als je dan globaal op een schaal van 10 - 15 jaar kijkt en dan kijkt naar hoeveel zand er in totaal gesuppleerd is en hoeveel de duinen in totaal gegroeid zijn dan zie je dat je die verschillen er dus niet uit kunt halen. Ik weet niet meer of het een kwart of een derde deel van het volume wat je suppleert hebt is, maar met zoveel volume nemen de duinen dan toe. Maar dat is dus op een grote tijdschaal en als je echt kijkt naar het effect van een suppletie op een plek dan is het heel erg afhankelijk van de plek. Een strandsuppletie heeft bijvoorbeeld direct effect op de strandzone terwijl een vooroeversuppletie pas op termijn effect heeft. Als je op groot schaalniveau kijkt dan maakt het weinig uit, maar op korte termijn, dus als je maar naar 5 jaar kijkt of 10, 10 is denk ik ongeveer de grens, dan moet je daar toch wel echt verschil in maken. Alleen dat is een beetje op gevoel. Dat is niet onderbouwd.

12:07 SW: Het was een beetje de bedoeling om een tijdstap te nemen van 10 jaar en dan tot het jaar 2100 ongeveer. Dus dat is dan wel een vrij grote tijdstap. Ik wil ook in de zeereep een kerf laten ontwikkelen door de tijd heen. Heeft het dan ook effect of het een strand of een vooroeversuppletie is of is dat inderdaad op z'n grote schaal ook niet belangrijk of minder belangrijk?

12:53 PD: Ik denk dat het op zo'n tijdschaal minder belangrijk is. De schatting (van een kwart of een derde deel aan volumetoename in het duin) is dus met de huidige zeespiegelstijging en de afgelopen 20 jaar. En als je zover vooruit kijkt met de huidige manier van suppleren, dus die vooroeversuppletie die liggen tussen de -5 en -7 NAP ofzo. Er wordt nu natuurlijk wel nagedacht over op andere manieren suppleren of zandmotoren bijvoorbeeld om maar iets te noemen, maar dat is daarin niet meegenomen. Dat zat natuurlijk niet in dat onderzoek.

13:59 SW: Die waarde van een kwart of een derde deel dat is dan voor de vooroever en strandsuppleties eigenlijk?

14:06 PD: Ja, of gewoon de standaardsuppleties zoals ze nu worden toegepast en zoals ze de afgelopen 20 jaar zijn toegepast. Maar als je dingen anders gaat doen, en ik denk dat als de zeespiegel sneller gaat stijgen we wel dingen anders gaan doen, dan weet ik ook niet of dat dan wel geldig blijft natuurlijk.

14:32 SW: Want ik neem aan dat u niet kan zeggen zo van: als de zeespiegel met zo snel gaat stijgen dan komt er waarschijnlijk minder zand het duin in? Zeg maar met de hoeveelheid die we nu suppleren en dan stijgt de zeespiegel sneller dan zou er minder zand in het duin komen toch? Dat is een beetje het idee?

14:55 PD: Vooralsnog is de stelling dat als de zeespiegel een beetje sneller gaat stijgen dat we gewoon meer gaan suppleren, want het is natuurlijk een heel idealistisch mom van adaptief beheer en beleid. Zandsuppleties zijn behoorlijk adaptief in vergelijking met allerlei kunstwerken dus dat kun je nog wel tot op zekere hoogte aanpassen. En als die volumes toenemen en je blijft dat dus met dezelfde frequenties en op dezelfde plek doen dan veranderd er misschien niet zoveel. Maar ik kan me ook voorstellen dat we op een andere manier gaan suppleren.

15:41 SW: Om daarop nog verder in te haken, in een abstract van een nog niet gepubliceerd onderzoek van Huisman en de Winter wordt gesteld dat vooroeversuppleties bij een bepaalde snelheid van zeespiegelstijging niet meer zouden zorgen voor een zandtransport naar het duin.

16:01 PD: Precies, Bas kan dat veel beter. Je kan hem daar beter over interviewen.

16:28 SW: Dan ga ik door naar de tweede vraag die ik heb. Het is niet mogelijk om het zandtransport naar het duin als gevolg van suppletie door MorphAn te simuleren. Ik zou dat dan handmatig moeten invoeren dus dan zou ik een bepaalde hoeveelheid zand zelf moeten toekennen aan het duin om een bepaalde tijd. Ik heb dan een volume zand per jaar nodig dat ik dan kan toekennen aan het duin als een volumetoename als een gevolg van een bepaalde grootte van suppletie. Daarom had ik de vraag ik denk dat het een beetje een moeilijke vraag is inderdaad, omdat het zo gedetailleerd is, maar is er een deel zand te kwantificeren dat standaard bijdraagt aan de aangroei van de duinen als een suppletie van een bepaalde grootte wordt uitgevoerd.

17:23 PD: Als je over 1 raai kijkt hangt het dus heel erg ook af van hoe breed het strand is, of het een droog strand is en de oriëntatie van het kerf ten opzichte van de wind is ook van belang bijvoorbeeld. Mijn eerste reactie zou zijn als je kijkt naar 1 raai of een klein stukje van het profiel dan kan dat niet.

18:13 SW: Stel dat ik dan de aanname van een kwart of een derde deel zou nemen. Zou daar dan een heleboel onzekerheid aan vast zitten als ik dat bij een raai zou doen?

18:27 PD: Uiteindelijk gaat je onderzoek erom dat je iets kan zeggen op een groter schaalniveau en op dat niveau hebben we dus wel dat percentage. En wat doet dat dan als je dat toekent aan een raai. Dat weet ik niet. Wat we ook nog niet zo goed weten als het gaat om kerven, want daar hebben we laatst nog heel hard over zitten nadenken met een groepje. Toen we 20 jaar geleden begonnen met zand suppleren was er echt geen enkel kerf aan de Nederlandse kust behalve de slufteer op Texel. als er iets van een stuifkuil ontstond dan zetten we die dicht, want we waren met zijn allen best wel bang voor erosie. Toen zijn we zand gaan suppleren en dat maakte dat we daar allemaal wat makkelijker mee om konden gaan. Ook de waterschappen, Joost en zijn collega's, dachten zo van als er een stuifkuil ontstaat dan kunnen we dat gewoon laten, want Rijkswaterstaat vult dat zand weer aan. Dus er is iets veranderd in de zin dat we zand

toevoegen, maar voor de duinen is dat veel belangrijker, denk ik, dat het beheer is veranderd als gevolg van de suppleties. En dat beheer is veel bepalender dan het zandaanbod. Het is de combinatie eigenlijk. Maar wat je dus hebt is dat de eerste jaren, toen het grootste deel van de zeereep nog een gesloten zeereep was, de zeereep vooral aangroeide, maar nu er op veel meer plekken kerven zijn, waait het zand ook verder door en misschien waait er nu ook wel meer zand door. Dus het is meer een onderzoeksvraag dan input voor jou, maar als dat zo is, als er meer van het gesuppleerd zand door waait de duinen in, dan groeien de duinen. Als je dat doortrekt naar de manier waarop we het zandvolume dat wij suppleren berekenen dan betekent het dat dat niet mee wordt gerekend, want zand in de duinen rekenen wij niet mee.

21:07 SW: Alleen de zeereep rekenen jullie dus mee eigenlijk?

21:13 PD: De basiskustlijn is het volume zand dat zich bevindt tot de duinvoet, waar het vlakke strand overgaat in de duin en dat is meestal ongeveer +3 dus voor het gemak rekenen wij gewoon vanaf +3 meter NAP tot aan de -5 meter. Daar berekenen wij het volume van en als dat te weinig is dan gaan we meer suppleren, maar als er dus heel veel zand in de duinen ligt en dat is allemaal uit dat basiskustlijnprofiel gekomen dan gaan wij suppleren, maar het zand is niet weg. Dus wij waren aan het nadenken of je dan misschien ofwel dat volume waar je naar kijkt zou moeten aanpassen, omdat het actieve profiel ergens anders is komen te liggen als gevolg van het beheer met kerven of niet, maar misschien is het ook wel prima om het op deze manier te doen en het zand lekker te laten doorstuiven. Wat we dus niet weten is in hoeverre die kerven nu invloed hebben op dat percentage wat ik net noemde, die zeg 30 procent zand, waarmee de duinen zijn gegroeid of dat nu niet de afgelopen paar jaar meer is geworden, omdat we al die kerven hebben gegraven. We hebben dat alleen maar op de lange termijn en over het geheel bekeken, maar nog niet in detail.

23:38 PD: Dus is er een deel zand te kwantificeren? Ja, op grote schaal en lange termijn wel, maar gedetailleerd niet dat is eigenlijk het antwoord.

26:07 SW: Joost Veer heeft mij vertelt dat er bij project Noordvoort een bepaald programma is opgezet van suppleties, die worden gedaan om het dynamiseringsproject wat daar gaande is te ondersteunen. Naar aanleiding daarvan is de vraag eigenlijk: in hoeverre kan een beetje met suppleties gespeeld worden?

26:34 PD: We suppleren daar omdat we voorzien dat op termijn de basiskustlijn overschreden wordt. Dus dat volume tussen die +3 en -5 (NAP) zien wij dan steeds minder worden. Om te voorkomen dat dat door het ijs zakt stellen we suppleties voor om uit te voeren. Naar aanleiding daarvan zijn we in gesprek gegaan, maar er is niet een directe link tussen de suppletie en het dynamiseringsproject.

27:13 SW: Dus afgezien van het suppleren voor de basiskustlijn is er niet echt 'extra zand' wat er dan gesuppleerd kan worden met het oog op eventuele positieve uitwerkingen op de dynamisering die daar gaande is?

27:36 PD: Nee.

27:56 SW: Het zand is inderdaad in principe voor het suppleren ten opzichte van de basiskustlijn, maar ik heb wel gelezen dat als het dan een bepaald positief effect zou hebben op de ecologie of de

gebiedsontwikkeling dan zou daar in gesprek over kunnen worden gegaan. Hoe moet ik dat zeg maar voor me zien? Dat er dan een keertje een extra suppletie kan worden uitgevoerd voor dat soort doeleinden?

28:33 PD: Nee, extra suppleties niet, want dat kost gewoon best wel veel geld. Dus waar het meestal op neerkomt, is dat we het ontwerp of de timing/planning aanpassen als dat geen veiligheidsrisico's met zich meebrengt. In uitzonderingsgevallen gaan we ingewikkeldere afspraken maken. Dat is op Schouwen gebeurd bijvoorbeeld. Daar is een hele pilot 'slim omgaan met zand' en daar is in overleg met het waterbedrijf en het keringsbeheer/waterschap afgesproken dat we een suppletie overslaan. Ook zijn er allerlei ondergrenzen afgesproken. Bijvoorbeeld als er een bepaalde hoeveelheid erosie plaatsvindt dan gaan we toch dit of dat doen. Maar we hebben toen wel gezegd dat we het (suppletie) nu niet gaan doen en dan gaan we kijken hoe het zich ontwikkelt. Maar dat heeft veel voeten in de haren, want dan moet je dat met iedereen afstemmen. Extra suppleties doen we niet. Eigenlijk zeggen we dat we het wel voor je willen regelen, maar dan moeten de extra kosten betaald worden vanuit andere fondsen dan wat wij als Rijkswaterstaat krijgen en meestal zijn die fondsen er niet. Al hebben in Zeeland bij het Brouwersdam strand de provincie, de gemeente en de strandpaviljoenhouders wel een keer mee betaald aan de suppletie die we daar hebben gedaan. Alleen op die voorwaarde (dat het prijsverschil wordt bijgepast) doen we extra suppletie of strandsuppleties in plaats van vooroeversuppleties. Dus het komt wel voor, maar dat heeft veel voeten in de haren. Dat kost veel moeite.

30:41 SW: Het principe is eigenlijk vooroeversuppleties voor de groei van het kustfundament. Waarom worden vooroeversuppleties gekozen over strandsuppleties? Waarschijnlijk dus vanwege geld begrijp ik.

30:55 PD: Ja, ook geld. Ook overlast voor de strandbezoekers, maar ook voor duinontwikkeling. Je hebt altijd van nature toch een soort van, gebiedsvreemd is een zwaar woord, maar het zand dat gesuppleerd wordt, is niet hetzelfde dat van nature op het strand ligt. Het is vaak iets grover. Het is in ieder geval grover dan wat er op het duinvoet aanwezig is, want dat zand komt er normaal gesproken door de wind. Wat er door zo'n persbuis komt dat is een grover gesorteerd mengsel. Daar waait het fijne zand dan weer uit en als er dan een keer een springvloed overheen gaat dan woelen de golven dat wel weer om. Dus uiteindelijk sorteert dat wel weer uit, maar de duinen ontwikkelen zich natuurlijker als het zand ook op een natuurlijke manier daar terecht komt. Vanuit de ecologie gezien, heb je eigenlijk alleen een dilemma als je het hebt over de natuurwaarden onderwater, bijvoorbeeld schelpenbanken. Die schelpen worden weer gegeten door andere dieren bijvoorbeeld en dan is het soms misschien beter om op het strand te suppleren. Althans dat zou een argument kunnen zijn om op het strand te suppleren, maar dat is zeldzaam. Dan is de vraag nog hoe je gaat kiezen tussen die verschillende natuurwaarden. Wat is nou het meest beschermingswaardig? Dat is net aan wie je het vraagt. De grootste reden voor een strandsuppletie is trouwens gewoon technisch. We rekenen dan het volume zand uit dat er toegevoegd moet worden. De Hollandse kust is een vrij vlakke kust met brekerbanken en daar kun je gewoon een extra brekerbank neerleggen, maar in de delta heb je vaak diepe geulen vlak voor de kust. Als je bijvoorbeeld een strand hebt en dan een geul en dan aan de andere kant van de geul je vooroeversuppletie neerlegt, dan kan je je voorstellen dat dat niet echt bijdraagt aan het verhelpen van de erosie van het strand, want de geul ligt in de weg. Dan kunnen we eigenlijk niet anders dan op het strand suppleren en een stukje van de geulwand meenemen. De meeste strandsuppleties doen we om morfologische redenen. We kunnen

het zand op een andere manier niet daar kwijt terwijl er wel suppletie nodig is.

34:20 SW: Stel dat de vooroeversuppletie minder effectief zal worden tegenover een strandsuppletie met het oog op zeespiegelstijging. In hoeverre zullen ze dan misschien het programma aanpassen? In hoeverre zullen ze misschien op een andere manier gaan suppleren?

34:47 PD: Er wordt wel veel over nagedacht, maar er is nog niks over besloten. Er is natuurlijk een heel programma Kustgenese 2, waarin naar alternatieve vormen van suppleties en volumes gekeken wordt. We hebben natuurlijk een zandmotor aangelegd om daarmee te experimenteren. Er zijn andere pilots binnen kustlijn­zorg uitgevoerd waar er juist in dieper water wordt gesuppleerd. Aansluitend bij de conclusies van Bas zou dat misschien niet de toekomst hebben. Of misschien als ze nog weer verder gaan met kennisontwikkeling, weer wel. Het is nu eigenlijk de fase waarin we een hoop nieuwe ideeën uittesten en wat er uit gaat komen, dat is moeilijk te zeggen. Tenminste ik zou er nu nog niks over durven te zeggen. Wel is het zo dat als er inderdaad uit zou komen dat we meer op het strand moeten gaan suppleren, dan zou het natuurlijk wel helpen we meer grip hebben op het proces van hoe dat zand zich verplaatst en wat het doet voor de ontwikkeling van de duinen. Ook lokaal. Dat we het ook echt kunnen beïnvloeden in plaats van kijken hoe het gaat en achteraf verklaren. Of zelfs achteraf denken ik had het niet verwacht en ik heb ook geen idee waarom dit zo gaat. Dat zijn dan lastige dingen. Het soort onderzoek dat jij nu doet, wordt dan des te belangrijker. Als de conclusie van Bas Huisman stand houdt, dat we meer op het strand moeten gaan suppleren, dan is het belangrijker om preciezer te weten welke processen op het strand en voor de zeereep bepalend zijn voor zandtransport.

37:31 SW: We hadden het net over de wat grotere tijdschaal, dat de vorm van suppletie dan niet zo veel uit zou maken. Is het dan nodig om rekening te houden met de timing van bepaalde zand fluxen? Of is daar überhaupt iets over bekend? En over de tijdsperiode over welke de effecten van de suppleties doorwerken?

38:05 PD: Ja, daar zou je rekening mee moeten houden als we het wisten. Het is natuurlijk een beetje een doodoener om te komen met aanbevelingen om meer onderzoek te doen, maar de kunst is natuurlijk om die aanbevelingen concreet te maken. Dan zou je moeten nadenken over de parameters waar je naar kunt kijken of wat zou nou helpen om daar grip op te krijgen. Nu zijn er heel veel hypothesen en ik krijg de vraag ook vaak van wat is nou handig? Ook bij bijvoorbeeld Noordvoort. Ga je eerst een kerf graven en dan een suppletie uitvoeren zodat er gelijk een heleboel zand doorheen kan? Of moet je dat juist niet doen want dan heb je een kerf gegraven en dan zet je hem weer half dicht door al dat zand ervoor? Die timing, dat is precies wat ik zei, hoe gaat dat in zijn werk als we nou een suppletie willen doen? Die timing is iets waar best wel wat flexibiliteit in zit. Waar we wat aan kunnen aanpassen. Maar tot nu toe zijn er weinig concrete verzoeken, omdat we die niet kunnen onderbouwen. Ik ken het onderzoek van Bas en Renske niet trouwens. Ik weet wel dat er nog meer onderzoek loopt naar dit soort dingen. Ook aan de universiteit van Delft, maar ik weet niet hoe lang jouw lijst met nog te interviewen personen al is?

40:16 SW: Nou het valt best mee dus als ik ergens extra informatie vandaan kan halen dan sta ik daar altijd open voor.

40:28 PD: Ik weet dat Krista van IJsdoorn nu een jaar bezig is met haar PHD aan de TUDelft. Dat gaat over dit soort vragen en die heeft vast ook heel veel data verzameld. Misschien vind ze het wel leuk? Ze wordt begeleidt door Sierd de Vries dus dan weet ik niet of je bij Sierd of bij Krista moet beginnen, maar het kan vast interessant zijn. Dat project heet Duneforce. Je kan vast wel iets vinden als je daarop zoekt.

42:05 SW: Dan had ik alleen nog wat vragen die wat meer ecologisch gericht zijn. De resultaten van het Natuurlijk Veilig onderzoek naar de invloed van suppleties en zeereepbeheer op duin habitats en ecologische diversiteit van het binnenduyn zijn nu nog niet beschikbaar.

42:18 PD: Die zijn er inmiddels wel. We wilden het nog wat toegankelijker opschrijven dus het staat nog niet goed op de website, maar ik zal jou het rapport toesturen.

42:29 SD: Ik merk nu ik met u praat dat het een beetje moeilijk wordt, maar ik wil factoren kwantificeren. Wat ik eigenlijk wil gaan doen is in MorphAn de zandverplaatsing simuleren en dan kijken of er een bepaalde grens zit aan wat de ecologie aankan. Bijvoorbeeld de maximale of minimale hoeveelheid zand die er op vegetatie kan liggen voor het negatieve of positieve effecten ervaart. Is er misschien iets te kwantificeren op die manier?

43:35 PD: Je kunt er wel algemeen iets over zeggen, maar je kan dat moeilijk kwantificeren denk ik. Wat de discussie vaak is, is dat als er meer dynamiek in de zeereep is dat het habitatype witte duinen met helm toeneemt. Dat gaat dan ten koste van het habitatype grijze duinen met wat kleinere vegetatie en meer soortenrijkdom. Ze horen er natuurlijk allebei te zijn en de verhouding tussen die habitatypen verschilt per plek. Het is op zich heel natuurlijk dat dat wisselt. Dat het ene vervangen wordt door het andere en dat dan de witte duinen langzaam weer grijze duinen worden en dan weer een keertje afslaan. Alleen onze natuurwetgeving zit niet zo in elkaar. Dus dat is nog een discussie onder ecologen. Dus of het erg is (dat de habitat verdwijnt voor de ander) dat is een vraag waar je natuurlijk nooit uit komt. Maar je kunt wel iets zeggen over hoeveel zand zo'n habitatype grijze duinen kan hebben voordat het teveel is. De grijze duinen zijn wel gebaad bij overpoedering dus er moet wel wat vers zand bijkomen, maar dan weer niet zoveel dat het eraan onderdoor gaat. Je kunt best wel goed uittesten in proeven hoe planten zich staande houden en hoeveel ze kunnen hebben. Alleen aan de voorkant kunnen we de kraan openzetten en dan krijgen we witte duinen en we kunnen hem dichtzetten zoals die vroeger was, dus helemaal geen kerven meer en een gesloten zeereep, en dan gaan de grijze duinen over in struweel. We hebben een aan en uit, maar wat daartussen zit hebben we niet onder controle. Meer alsof je probeert de kraan op druppelen te zetten, maar dan schiet je door en dan wordt het toch een straaltje. Volgens mij kun je wel iets zeggen over hoeveelheden zand, maar we kunnen er niet nauwkeurig genoeg mee sturen.

Interviewer: Sanne Wesseling (SW)

Interviewee: Maaïke Veer (MV)

Date and time: March 26th 2020 10:00

Communication tool: by phone

08:00 SD: Hoe is er in het project Noordvoort met de waterveiligheid omgegaan? Dan bedoel ik, bijvoorbeeld, hoe zijn de ingrepen gepland zodat de waterveiligheid niet aangetast zou worden?

08:17 MV: We hebben natuurlijk samengewerkt met het hoogheemraadschap, en ik heb van tevoren ook nog een onderzoekje laten doen naar de veiligheid en naar hoe diep de kuilen eigenlijk kunnen worden voordat het onveilig wordt.

08:40 SW: Om daar even een beetje op in te haken. Ik heb namelijk een notitie gemaakt dat er in één van de verslagen inderdaad verwezen wordt naar Alkyon. Alleen ik kon verder zelf dat document niet vinden.

08:54 MV: Ik zal even kijken of ik dat dan nog heb.

08:57 SW: Dat zou fijn zijn, graag.

09:00 MV: Alleen dat (het onderzoek) is eigenlijk het begin. Verder monitort het Hoogheemraadschap van Rijnland de veiligheid en hoort dat sowieso tot hun reguliere werk. Dus ik neem aan dat als er echt te weinig zand in een profiel aanwezig is, dat we daar dan over gaan overleggen natuurlijk.

09:31 SW: Als er dan te weinig zand in het profiel is. Hoe zouden jullie dat dan aanpakken, want qua suppletie is dat alleen de basis kustlijn waar Rijkswaterstaat naar kijkt toch?

09:49 MV: Dan zou je ervoor kunnen kiezen om natuurlijk iets weer vast te gaan leggen als dat nodig is. We hebben heel erg samengewerkt met een projectgroep waarin Rijnland ook aanwezig is. Dus dan zou ik met Rijnland dat afstemmen. In feite zijn zij de waterkering beheerder ook. Dus dan zal het hun verantwoordelijkheid zijn. Dat is hun expertise in de projectgroep ook. Zo zie ik het dan.

10:22 SW: Dan is wat ik u nu ga vragen ook waarschijnlijk een beetje meer voor Rijnland, maar niet geschoten is altijd mis. Kunt u misschien iets vertellen over de huidige of eventuele verwachte toekomstige ontwikkelingen rond project Noordvoort en waterveiligheid? Het kan natuurlijk zo zijn dat door het dynamisch beheer, de binnenduinen ook wat sterker worden. Hoe kijkt u hier tegenaan? Denkt u dat dit project juist de waterveiligheid zal laten toenemen?

10:56 MV: Dat is op zich natuurlijk wel de intentie. Juist ook doordat de kuilen nu wat meer uitstuiven helemaal naar beneden, zou je verwachten dat je zandtransport echt naar binnen krijgt en dat het dus goed is voor de waterveiligheid. Je krijgt eigenlijk meer zand in je profiel. Dat is natuurlijk ook inderdaad de bedoeling. Het doel is drieledig eigenlijk. Het is voor de veiligheid, ecologie en het landschap. Het duin was natuurlijk helemaal een starre zeedijk, die ook ecologisch helemaal op slot zat. Dus juist die verjonging draagt bij aan een betere ecologie. Of in ieder geval iets wat meer hoort op die plek. Als je dan witte duinen krijgt.

12:06 SW: Een beetje een win-win-win situatie, zou je moeten hebben.

12:10 MV: Ja precies. Op zich is dat het. Ik denk dat dat nu nog steeds het geval is ook. We hebben het project voor 5 jaar gemonitord. Er worden

wel dingen meegenomen nog in de reguliere monitoring en wij hebben ook nog plannen voor extra kuilen. Ik weet eigenlijk niet precies waar die gepland zijn. Of die ook rondom die raai van jou zitten?

12:38 SW: Dat kan wel is zo zijn inderdaad, want er is wel een plan opgesteld om daar ook kuilen te plaatsen.

12:44 MV: Ja, in het kader van de PAS is dat. Ook dat zal wel weer gemonitord worden. Dus daar zullen ook wel weer inzichten uitkomen.

12:56 SW: Ja, dat is een beetje waarom ik mijn onderzoek doe, omdat ze graag willen weten of de waterveiligheid daar ook goed zit als die kuilen daar gegraven worden inderdaad. Dat is een beetje het doel erachter.

13:13 SW: Dan de volgende vraag: hoe is binnen project Noordvoort met de Natura 2000 doelen omgegaan? en hoe zijn de ingrepen hier bijvoorbeeld op afgestemd?

13:24 MV: We hebben sowieso contact gehad met de provincies ook over hoe we dat moeten toetsen, want voor alles wat je doet moet een natuurtoets gedaan worden. Of toen der tijd heette dat nog een nb-wet toetst. Toen zeiden ze eigenlijk dat als je dynamisch kustbeheer bevordert, het altijd goed is. Eigenlijk hoeft je niet eens toetsen, maar omdat wij ook een uitzichtspunt gingen maken, hebben we daar wel een toets laten doen. Die toets staat volgens mij ook op de website. Toen moesten wij ook nog aanvullend kijken naar de nauwe korfslak. Dat is dan weer echt zo'n nb-wet soort. Een paar plukjes struweel, waar een bepaald bos onder staat, hebben we laten staan, omdat dat potentieel habitat zou kunnen zijn voor de nauwe korfslak. Dus daar hebben we wel ook over overlegd met de omgevingsdienst die daarvoor verantwoordelijk is. Tussendoor zijn er dus ook nog extra onderzoekjes gedaan. Er is ook nog gekeken naar vleermuizen en naar vogels. Als je dan eenmaal zo'n toets opstelt, vragen ze soms nog wel extra gegevens, maar uiteindelijk hebben we gewoon een vergunning gekregen. Hetzelfde geldt eigenlijk voor de aanleg van dat pad. Dat was nog wel wat lastiger om dat aan te vragen, maar ook daar is gewoon een toets voor gemaakt en ook ontheffing voor verleend. Al heb ik dat zelf niet getrokken, dus dat weet ik iets minder goed. De kuilen doe je eigenlijk ten behoeve van je Natura2000 doelen.

15:26 SW: En weet u ook in hoeverre op dit moment het project heeft bijgedragen aan de doelen? Is daar iets over te zeggen al?

15:34 MV: In een Natura 2000 beheerplan zijn eigenlijk percentages aangegeven van de hoeveelheid dynamiek die er vanuit ecologisch perspectief ongeveer wenselijk is. Dat hebben we niet echt nu gemonitord of gemeten heel specifiek daarvoor, dus dat weet ik niet precies in welke mate het heeft bijgedragen.

16:23 SW: Ik had vernomen dat het dynamiek in het landschap waarschijnlijk blijvend moeten worden gestimuleerd om bij te kunnen blijven dragen aan de doelen zal. Is dit correct? En zo ja, hoe voorziet u de dynamiek in het landschap te kunnen stimuleren in de toekomst?

16:44 MV: Bedoel je dan echt de zeereep?

16:49 SW: Ja, de zeereep. Van wat ik begrijp is dat het waarschijnlijk op een gegeven moment zou kunnen zijn dat dynamiek weer gaat stabiliseren. IS dat een correcte aanname?

17:07 MV: Ja, dat kan, maar dat zien we nu nog niet. Er zijn een paar kuilen die het wat minder doen, maar die laten we nu ook gewoon gaan. Op zich is daar wel ecologische winst al behaalt, omdat er wel wat verstuiving is, maar een heleboel andere kuilen gaan juist heel goed. Dus in hoeverre ik in de toekomst dat moet blijven doen en of we dat dan doen, dat kan ik gewoon nu niet overzien ook. Ik denk dat we dat dan ook in overleg weer moeten doen met het hoogheemraadschap. Op zich is het nu heel goed aan het verstuiven en heb je ook al wel veel ecologische winst. In de binnenduinen activeren we ook een hoop dingen weer. Soms is het tijdelijk en soms blijft het stuiven. Dat zijn een beetje overwegingen. Dan moeten we dus ook inderdaad wel kijken naar die Natura2000 doelen en kijken wat onze opgave daarin dan is. Dus ik vind het lastig om zo nu te zeggen of we alles actief moeten gaan houden, omdat het nu ook nog heel actief is van zichzelf.

18:26 SW: Dus op het moment zelf kom je daar pas achter met monitoren of er iets moet gebeuren?

18:32 MV: Ja.

18:48 SW: Uit het eindrapport over de flora en vegetatieveranderingen als gevolg van project Noordvoort komt voort dat er op dit moment nog niet veel veranderingen vast te stellen zijn rondom de zeereep. Ook mede omdat het project nog vrij jong is. Er is echter niet gekeken naar de gevolgen voor de binnenduinen, ofwel voornamelijk grijze duinen, zover ik heb begrepen. Is dat correct?

19:11 MV: Eigenlijk is er wel naar de hele zeereep gekeken op verschillende manieren. De biodiversiteit is nog niet verhoogd. Dat is natuurlijk inderdaad een conclusie op een korte termijn. Er zijn wel soorten aangetroffen die daar thuishoren. Het is eigenlijk niet het duin met een heel soortenrijk milieu. Er zijn niet heel veel soorten die daar kunnen overleven. Dus of het meer succesvol is dat ligt ook een beetje aan hoe je het dan definieert.

19:56 SW: Is er ook onderzoek gaande naar de doorstuiving naar meer het achterland? Of het daar enig effect heeft op de biodiversiteit?

20:10 MV: Wat er is onderzocht staat allemaal in die rapporten dus dat zou je daarin gewoon kunnen opzoeken. Ook wat er qua verstuiving is gedaan qua onderzoek staat ook in die rapporten. Dat zijn dan de rapporten van Bas Arens. Ik heb het nu niet helemaal paraat in me hoofd wat er allemaal in staat, maar er is ook een analyse over in het laatste rapport. Alleen dat zijn inderdaad gegevens erover die beschikbaar zijn. Het is niet helemaal tot achter het fietspad of iets onderzocht.

20:45 SW: Dat was de vraag eigenlijk. Ik had gelezen dat er waarschijnlijk wel doorstuiving was naar het achterland, maar dat is verder dus niet onderzocht achter het fietspad?

20:55 MV: Nee, wat er is onderzocht dat staat dus inderdaad in de rapporten. Dat zijn dus alle beschikbare data. Je had trouwens ook een vraag over de maximale of minimale hoeveelheid zand?

21:17 SW: Ja, die kwam nu eigenlijk toevallig.

21:36 MV: Helm heeft natuurlijk zand nodig om vitaal te zijn. Dat kan een heel pakket zijn voor helm, maar als je een beetje de oudere graslanden dan is juist de kleinschalige verstuiwing met een hele geringe overstuiving wat helpt. Daar is ook een uitgebreid onderzoek naar gedaan. Daar hebben we een verwijzing voor opgenomen ook.

22:12 SW: Is er een bepaalde hoeveelheid zand die dan een wisseling in habitattypen kan veroorzaken? Dus bijvoorbeeld van grijs naar witte duinen?

22:38 MV: Dat ligt aan hoe zoiets wordt gekarteerd en ik weet niet precies hoe dat zit.

22:58 SW: Om terug te komen op het nabeheer. Er stond in project Noordvoort dat nabeheer als cruciale factor wordt gezien. Hoe wordt de timing van het soort nabeheer bepaald? Nou hebben we het al een beetje over de timing gehad, maar wordt op dat moment ook het soort nabeheer beoordeeld?

23:22 MV: Wij zagen dat toen we de kuilen hadden gemaakt in de winter van 2013 dat het in de zomer meteen alweer dichtgroeide en dan vooral met helm. Toen moesten we wel wat doen. Het is eigenlijk een beetje kijken hoe het gaat. Pragmatisch is er bepaald wat voor nabeheer we gedaan hebben. We begonnen met vrijwilligers die dan het helm eruit trokken, maar bij sommige moesten we echt wel weer even met de machine aan de gang. In de zomer daarop zijn we met paarden en ploeg aan de slag gegaan en dat heeft heel goed geholpen. Daarna is het echt wel veel beter gaan stuiven, maar ik denk dat het gewoon een combinatie is geweest van dat alle omstandigheden goed waren. Want toen we de kuilen net gemaakt hadden was er bijvoorbeeld best wel een hele lange periode met oostenwind. Dat is niet heel handig om de verstuiwing op gang te brengen, want dan zou je juist westenwind nodig hebben. Er spelen natuurlijk meerder factoren dan een rol. Ik denk dat vooral het ploegen met de paarden heel goed geholpen heeft. Toen zijn een heleboel kuilen daarna echt vanzelf gaan stuiven. Samen met onze beheerders hebben we wel is een rondje gemaakt en toen uiteindelijk bepaalden we dat we op die plekken echt niks meer hoefden te doen. Dat hebben we gewoon zelf als beheerders bepaald. Het feit dat je snel moet anticiperen met nabeheer is wel echt een leerpunt geweest van het project wat je ook bij andere projecten mee kan nemen. Als we meer kuilen zouden gaan maken dan moet je dat ook meteen opnemen in je plan denk ik.

25:40 SW: Vaak worden in rapporten vooral de effecten van het beheer op de ecologie besproken. Zo ook in de beschikbare documenten van project Noordvoort. In het onderzoeksgebied is er echter ook een fietspad en een gasleiding aanwezig die waarschijnlijk zullen worden bedekt met zand als gevolg van het toenemende transport. Is dit al vernomen bij project Noordvoort en hoe is daarmee omgegaan?

26:04 MV: We hebben het natuurlijk best wel kleinschalig allemaal opgezet. De reden daarvoor is ook omdat we eigenlijk sowieso weinig ruimte hebben. Het zand moet in de zeereep blijven en de zeereep is best wel smal daar. Je wil niet dat het op het fietspad komt en je wilt niet dat die gasleiding bloot komt te liggen. Dat is ook nog niet aan de orde en we hebben ook nog niet iets gedefinieerd.

27:00 SW: Zou je op begeven moment het fietspad misschien kunnen verplaatsen ten behoeve van de versterking van het duin via dynamisch beheer? Dus dat je eigenlijk het zand wel zover laat verstuiwen en op

begeven moment beslist van misschien moeten we het fietspad verplaatsen? Is dat een reële optie?

27:22 MV: Je kan niet zomaar het fietspad verschuiven. Daar komt ook heel veel natuurwet en regelgeving bij kijken als je een pad wilt verplaatsen. Daarbij komt dat dit fietspad loopt van Zandvoort naar Noordwijk. Dat is het fietspad aan de rand en bij ons mag je daar niet fietsen. Dus als je hem dan verder naar achter verplaatst dan zou je bij ons in het duin gaan fietsen. Je hebt daarachter ook nog vrij snel te maken met de waterwinning. Ik snap het helemaal, want je wilt zoveel mogelijk ruimte eigenlijk hebben voor je dynamische processen, maar er zijn wat meerdere factoren inderdaad die het bij dit project lastiger maken om het helemaal grootschalig te doen. Vandaar dat wij ook niet van die grote kerven hebben gemaakt als bij onze noorderburen tussen Bloemendaal en Zandvoort. Daarom hebben wij het bewust wat kleinschaliger aangepakt. Juist omdat we te maken hebben met de achterliggende belangen die je niet zomaar kunt veranderen.

28:46 SW: Is het mogelijk om een maximale hoeveelheid zand vast te stellen waaronder een fietspad of een gasleiding bedekt kan worden totdat er ingegrepen moet worden?

29:00 MV: Ik denk dat er wel wat zand over een gasleiding heen kan. Dat is wel prima. Het gaat er meer om dat hij niet bloot komt te liggen, dus dat het niet uitstuift. Wat betreft het fietspad moet je overleggen met de beheerder, dat is de provincie in dit geval. Dan zou je ook kunnen denken aan bordjes van overstekend duin of iets dergelijks. Dat hebben ze op andere plekken ook. Dus ik denk dat je dan even moet gaan shoppen bij andere plaatsen waar ze meer ervaring hebben met duinen die wel een fietspad oversteken. In een noodgeval zou je natuurlijk een verstuiving vast kunnen leggen, maar daar hebben we het net ook over gehad.

29:57 SW: Heeft u verder ook nog andere effecten ervaren van project Noordvoort op de infrastructuur of de sociale omgeving? Zover ik gehoord heb waarschijnlijk niet, omdat het vrij kleinschalig was?

30:09 MV: Noordvoort heeft natuurlijk heel erg in de belangstelling gestaan tijdens de Formule 1 discussie. Dat is wel iets sociaals natuurlijk, maar het geldt over de strandzijde van het duin. Toch is dat wel een ervaring die wij hadden op sociaal gebied, omdat het toch wel in de belangstelling stond. We hebben soms vragen en reacties gekregen, maar die gingen meer ook over het pad. Vragen als: er lopen toch nog mensen op het strand? Of: mag ik nou wel of niet op het strand lopen? Dat heeft meer dan te maken met de tweede fase van het project dan met de eerste fase.

31:15 SW: Dan heb ik nog wat vragen over de drinkwaterwinning. Ligt dit ook binnen uw expertise?

31:21 MV: Een collega van mij heeft daarvoor iets op papier gezet. De omvang van de zoetwaterbel wordt bepaald door de breedte van het duin en niet zozeer door de hoogte. Een stukje heeft hij dan over de zandmotor geschreven. Daar is dan allerlei onderzoek ook nog gedaan naar de zoetwaterbel etc. Bij ons hebben hydrologen wel is wat eraan gerekend. Het zou kunnen zorgen voor een grotere strategische watervoorraad voor de drinkwaterwinning als je de duinen verbreed. We hebben daar niet echt gegevens over. Het antwoord zal ik nog even toesturen. Je wil natuurlijk

geen brak water ofzo in het gebied vanwege de drinkwaterwinning. Dus wij kunnen geen sluffers of iets dergelijks toelaten in de zeereep.

33:27 SW: Dan nog een vraag over de zeespiegelstijging. Heeft dit een bepaald effect op de drinkwaterwinning in de Amsterdamse Waterleidingduinen? En in hoeverre kan dat dan misschien voorkomen worden door een bepaald duin of kustbeheer?

33:42 MV: Een verbreding van de kust kan de zoetwaterbel laten meegroeien, maar dat is dan echt een lange termijn doel. Dat ligt er natuurlijk aan wat voor strategie er landelijk gekozen wordt en dat lijkt toch wel te gaan richting kustverbreding.

Interviewer: Sanne Wesseling (SW)

Interviewee: Bas Arens (BA)

Date and time: April 1st 2020 12:00

Communication tool: Skype

09:33 SW: Wat vind u van de aanname dat de ontwikkeling van dynamische vormen in de zeereep in project Noordvoort representatief is voor het studiegebied? Wat zijn de eventuele valkuilen rond deze aanname?

09:43 BA: Ja, dat is een goede vraag. Het ligt heel dichtbij dus het ligt heel erg voor de hand om te denken dat wat daar gebeurt ook in jou studiegebied gebeurt. Dat lijkt me een hele plausibele aanname. Het systeem is niet echt anders. Het enige wat eigenlijk anders is, is dat de zeereep wat smaller is bij jou gebiedje en wat misschien wel lastig is, maar ik weet niet in hoeverre je daar rekening mee moet houden, maar het fietspad loopt daar wel nog dichter achter de zeereep langs dan bij Noordvoort. Is dat iets waar je rekening mee moet houden of laat je dat voor het gemak buiten beschouwing?

10:27 SW: Ja, het was wel het idee om daar rekening mee te houden, maar dan vooral om het punt te vinden dat het fietspad zodanig overlast zou ondervinden van de verstuiving dat er iets mee moest gebeuren. Aan de ene kant houden we er wel rekening mee dat we een punt aangeven dat het fietspad dan inderdaad overbelast is, maar aan de andere kant simuleren we wel gewoon door terwijl dat fietspad dan al overstuift. Het is niet dat we daar dan mee stoppen.

11:05 BA: Dus je houdt er ergens wel rekening mee, maar ergens ook niet. Je kan natuurlijk in je simulatie als randvoorwaarde nemen dat het fietspad niet mag overstuiven. Dat zou een scenario kunnen zijn. Je zou ook als scenario mee kunnen nemen dat het fietspad gewoon 100 meter landwaarts verplaatst wordt en dat je er dan daar geen last van heb. Dus dat zijn dan allemaal verschillende manieren waarop je er mee om zou kunnen gaan.

11:28 SW: Ja, dat was ook een idee om dan scenario's te maken inderdaad, omdat er zoveel onzekerheid rondom zandverstuiving zit. Dus dat is zeker een idee. Dan ga ik verder met de volgende vraag: In opdracht van Waternet heeft u voor het studiegebied advies gegeven wat betreft een aantal potentiële locaties voor stuifkuilen in de zeereep. Deze zijn begreep ik vooral aangewezen met het oog op de natuur?

12:09 BA: Ja, dat klopt.

12:09 SW: Is het doel daarbij om maximaal zandtransport vanuit deze kuilen te bereiken ten behoeve van de natuur of is er een limiet aan zandbedekking dat een positieve uitwerking heeft op de natuur?

12:22 BA: Het idee is eigenlijk hetzelfde als wat bij Noordvoort het idee was en dat was niet zozeer dat er echt grote kerven zouden ontstaan en dat er heel veel zandtransport over de achterliggende duinen zou gaan plaatsvinden. Dat was eigenlijk een randvoorwaarde die door Rijnland niet werd toegestaan. Ook omdat ze net al dat project bij Bloemendaal hadden gestart waar al hele grote kerven liggen en waar het duidelijk wel de bedoeling is dat het zand wel heel ver naar binnenstuift. Bij Noordvoort was het eigenlijk niet het idee en het plan voor die nieuwe stuifkuilen is eigenlijk min of meer identiek aan het oude plan van Noordvoort. Dus het gaat er vooral om dat de zeereep aantrekkelijker wordt. Dus het reliëf wat diverser te maken en alom verstuiving op gang te brengen, maar dat hoeft niet de grijze duinen daarachter te bereiken.

13:19 SW: Dat wist ik niet. Ik dacht dat het de bedoeling was dat het dan inderdaad in de grijze duinen kwam, maar dat is dus niet zo.

13:28 BA: Nou de hoop is wel dat er wat effect is, maar een van de grote problemen is dat er ook een gasleiding achter de zeereep langsloopt. Als je heel veel dynamiek daar gaat opwekken dan komt die gasleiding waarschijnlijk in de problemen en dat is iets wat sowieso niet is toegelaten.

13:46 SW: Want dat die gasleiding in de problemen komt heeft dan waarschijnlijk vooral met verstuiving te maken? Niet perse met depositie op de leiding, maar meer dat de leiding bloot komt te liggen?

14:01 BA: Ja, dat is het grootste probleem en als je echt grootschalige kerfontwikkeling zou krijgen dan zou dat wel een reëel probleem zijn.

14:10 SW: Dus ook voor het studiegebied waar ik mee bezig ben, zou je dus niet aanraden om maximaal zandtransport te laten plaatsvinden?

14:22 BA: Nee, sowieso omdat het een vrij zwakke raai is. Het zijn eigenlijk een paar raaien naast elkaar waar het vrij zwak is. Je zou daar eigenlijk in het hele gebied ook veel meer zand willen hebben. Wat dat betreft zou je dus eigenlijk verstuvingsvormen willen stimuleren die ervoor zorgen dat er heel veel zand vanaf het strand naar binnen kan stuiven, maar niet dat het heel ver doorstuift. Want dan heeft die versteviging van de zwakke zeereep eigenlijk niet zo veel effect.

15:00 SW: Dus stel dat ik dat zou moeten simuleren, met welke trucs, of ontwerpen en beheersmaatregelen, kan zandtransport daar misschien op afgestemd kunnen worden?

15:18 BA: Ja, dat is best wel ingewikkeld. Sowieso is het de vraag wat zo'n model gaat doen met verschillende kerven. Ik ken het opzich niet dat MorphAn.

15:33 SW: MorphAn is eigenlijk alleen ontworpen om de zeereep te toetsen. Daarom heb ik zoveel gegevens nodig rondom zandtransport. Ik moet zelf handmatig een bepaalde hoeveelheid zand toekennen aan een bepaalde plek. Dus MorphAn kan geen zandtransport simuleren. Dus dat is iets wat best wel moeilijk is. Ik zou dan eigenlijk zelf scenario's moeten maken van zandverspreiding. Dus daar ben ik een beetje mee bezig. Dus misschien doe

ik dan toch wel een scenario met maximaal zandtransport. Dus daar heb ik natuurlijk wel data voor nodig en dat was ook een vraag die ik nog had. Heeft u misschien data over kerfontwikkeling, zandverstuiving en ook zandverspreiding? Want ik had begrepen dat bij Noordvoort er niet perse zandverspreiding echt gemonitord wordt?

17:07 BA: Voor een deel wel. We hebben met transecten gemeten en we hebben karteringen gemaakt van de dynamiek, maar we hebben ook aan de hand van de Jarkus bestanden van Rijkswaterstaat verschilkaarten gemaakt. Daaruit kan je heel goed de erosie en de depositie patronen afleiden. Volgens mij zijn dat ongeveer de gegevens die je nodig zou hebben. Dan kan je per kerf kijken wat de verschillen zijn, hoe die aangelegd is, hoe die in het profiel ligt en wat daar dan de patronen rondom zijn. Daar kan je ook misschien een bepaalde wetmatigheid uit halen en dat zou je eigenlijk ook kunnen doen voor de kerven bij Bloemendaal. Dan heb je wel twee verschillende systemen. De resultaten daarvan die zou je dan eigenlijk over de zeereep daar kunnen neerleggen en dan daarvan inschatten wat eigenlijk bij verschillende scenario's realistisch zou kunnen zijn.

18:24 SW: Is die data gewoon beschikbaar in de verslagen van Noordvoort die online staan?

18:38 BA: Ja, maar je kan beter de data van Rijkswaterstaat gebruiken, want daar kan je makkelijk zelf mee rekenen. Er is een website waarop je die jarkus gegevens per jaar kan vinden en die data van 2019 staat daar inmiddels ook al op. Dat zijn gewoon hoogterasters dus die kun je in GIS inladen en daarmee kan je verschilkaarten berekenen en aan de hand van die verschilkaarten kun je dus heel precies zien wat de veranderingen zijn. De kleine veranderingen van een aantal centimeter overstuiving haal je er niet uit, want daar is het niet nauwkeurig genoeg voor. Maar de echte grote veranderingen die je juist rondom zo'n kerf hebt die kun je er wel heel goed uithalen. Je kunt de patronen bestuderen dus je kunt heel goed zien in welke richting het zand verplaatst wordt en hoe ver het vanaf zo'n kerf wordt afgezet. Dat zou je per kerf apart kunnen bestuderen. Je kunt ook bedekkingsdichtes uitrekenen en dat weer omrekenen naar hoeveel kuub dat per strekkende meter of per jaar is. Dat zou je heel veel houvast kunnen geven.

20:01 SW: Dat zou echt top zijn. Kunt u mij de bron geven van die data?

20:13 BA: Ik zal je even een link sturen. Dan kun je het zelf vinden. De kaarten staan wel allemaal in het Noordvoort rapport. Ze lopen tot en met 2017, denk ik, dus die zou je dan weer kunnen updaten.

20:34 SW: Ik wil eigenlijk een tijdschaal gebruiken die loopt tot 2100 met een tijdstap van 10 jaar. Alleen de gegevens van Noordvoort zijn, bijvoorbeeld, alleen over de laatste 7 jaar toch? Heeft u ook tips over hoe ik op zo'n grote tijdschaal een kerf zou kunnen simuleren?

21:09 BA: Dat is een beetje koffiedik kijken. Ik denk dat je dan ook weer naar een paar andere gebieden zou moeten kijken waar al langer kerven liggen. Er is een project bij Terschelling, bij de Noordsvaarder, waar sinds ongeveer 1997 kerfontwikkeling al begonnen is. Dat loop dus al voor 20 jaar. Ook in het Noord-Hollands duinreservaat heb je een paar plekken waar ook rond die tijd kerven zijn ontwikkeld en daar zijn er inmiddels steeds meer bijgekomen ook. Daar heb je wel een serie van kerven van een jaar of 20 tot misschien 10 of nog minder jaar. Ook met allerlei verschillende richtingen en groottes dus daar zou je wel heel veel uit

kunnen halen volgens mij. Toch is het voor een deel giswerk en dan bedoel ik echt gissen in de zin van gokken maken van hoe iets zich gaat ontwikkelen, want dat weten we gewoon nog niet precies. Stel dat je een heel gedetailleerd morfologisch model hebt, dan zou je dat allemaal kunnen gaan toetsen, maar die zijn er ook helemaal nog niet. Dus je moet een beetje roeien met de riemen die je hebt dan.

22:38 SW: Ja, klopt. Daarom was het idee om een aantal scenario's te maken om misschien een beetje die onzekerheid te weg te nemen. Maar ik heb wel inderdaad door dat er veel onzekerheid aan zit en dat het een beetje giswerk is. Uit die data zullen echter wel bepaalde trends moeten te halen zijn waar je iets zinnigs mee kan.

23:06 BA: Ja, precies. Ik denk dat als jouw doel is om vooral de zeereep daar te versterken, dat een van de randvoorwaarden eigenlijk is dat die kerven er niet helemaal door het voorduin heen gaan blazen, maar juist dat het ingangen zijn vanaf het strand. Dat je kan zorgen voor voeding door daar te suppleren op een slimme manier. Hierdoor zorg je eigenlijk dat er continu zand beschikbaar is. Met beheer van de kerven zou je er aan de ene kant voor kunnen zorgen dat ze open blijven, dus dat het transport mechanisme vanaf strand naar de bovenkant van de zeereep in tact blijft. Aan de andere kant kan je er met beheer voor zorgen dat de kerven niet te ver gaan uitgroeien. Dat het zand dus eigenlijk veel verder komt dan je wil.

23:53 SW: Dus dat heeft dan eigenlijk te maken met de diepte van de kuil? Dat daar bepaalde randvoorwaarde aan moeten zitten en dat je dan ingrijpt als hij te diep wordt?

24:04 BA: Ja, precies. Dus eigenlijk zou je je simulaties denk ik op zo'n soort manier in moeten richten.

24:12 SW: Ik had ook gelezen dat uit project Noordvoort was gebleken dat een aanzet van een kerf gepositioneerd laag op de helling en van meer dan 30 centimeter diep het meeste kans op succes had?

24:30 BA: Ja, klopt.

24:31 SW: Is dat dan een goed uitgangspunt om mee te beginnen misschien?

24:35 BA: Ja, dat denk ik wel. Het is wel een beetje een steekproef, want er zijn 17 kuilen aangelegd dacht ik. Dan moet ik het even uit mijn hoofd zeggen hoor, maar het staat op zich allemaal in het rapport. Er zijn 3 kuilen die echt bovenop de zeereep zijn aangelegd die het niet zo goed doen. De kuilen die echt meer richting strand zijn gelegd hebben zich wel razendsnel ontwikkelt, maar daar zit ook verschil in. Helemaal aan de buitenkant liggen er bijvoorbeeld 3 die eigenlijk helemaal niks hebben gedaan. Die 3 kerven hebben ze na een aantal jaren nog een keer opnieuw uitgegraven en daarna is er eigenlijk nog niks gebeurd. Dus er zit ook nog steeds een zekere mate van onvoorspelbaarheid in of zo'n kuil nou echt aan de praat raakt of niet. De eerste ingreep bestond uit plaggen of echt uit graven. De kuilen die echt gegraven zijn, en dan is er volgens mij tot een meter diep gegraven, zijn eigenlijk het hardste in beweging gekomen. De manier van uitstuiven was eigenlijk veel groter dan we hadden verwacht, want we hadden helemaal niet verwacht dat het zo snel richting echte kerven zou gaan. Dat is ook eigenlijk niet de bedoeling, want Rijnland wou daar wel stuifkuilen, maar ze wouden daar geen kerven.

26:13 SW: Dus dan is het eigenlijk misschien een beter idee om dan een aantal kerven op zichzelf te bestuderen. Dat je de hele trend pakt, dus niet perse 1 startsituatie kiest, maar gewoon verschillende soorten kerfontwikkelingen simuleert.

26:35 BA: Ja, precies. Dat is denk ik handiger. Hoe het zich dan in de toekomst gaat ontwikkelen dat is moeilijk. Kijk als je naar de kerven in het NHD (Noord-Hollands Duin) kijkt, die er dan 20 jaar liggen, dan zou je twee tijdstappen hebben. Of je dat helemaal kan extrapoleren, dat weet gewoon niemand. Daar moet je aannames bij doen. Er zijn wel wat hypothesen over bijvoorbeeld hoe parabool duinen zijn ontstaan. De hypothese is dat het begint als een stuifkuil in de zeereep. Dan gaat dat langzaam doorblazen en ontstaat er een echt kerf en een hele grote depositie lob. Naar de voorkant toe krijg je een soort van opening en daardoor blaast nog heel veel zand door naar binnen. Dan langzaam maar zeker wordt de lob steeds groter en gaat hij zich landinwaarts bewegen. Op begeven moment is de afstand vanaf de zeereep dan zo groot dat hij eigenlijk een eigen leven gaat leiden. Als de lob dan losraakt van de zeereep dan krijg je op de plek van de zeereep eigenlijk een soort gat en dat zou dan weer dicht kunnen gaan groeien. Dan heb je eigenlijk een klein paraboolduin wat los van de zeereep langzaam maar zeker verder naar binnen beweegt. We hebben het idee dat op die manier eigenlijk een heel groot deel van de kust is ontstaan. Omdat als je naar de hoogte van het gebied kijkt, zie je eigenlijk overall series van paraboolduinen die van de zeereep naar het binnenland steeds groter worden. Dus het idee is dan dat die kleine parabolen sneller naar binnen bewogen dan de grote. De kleine parabolen haalden op begeven moment de grotere in en de grotere liepen dan ook weer iets sneller dan de nog grotere die verder landinwaarts lagen. Dus die werden dan ook weer ingehaald en op die manier kreeg je eigenlijk steeds grotere systemen. Vooral als je naar de morfologie van het duingebied bij Zandvoort-Bloemendaal kijkt, zie je daar heel mooi dat je allerlei series van parabolen hebt die heel klein in de zeereep beginnen en dan landinwaarts steeds groter worden. Dus dat is waarschijnlijk het mechanisme geweest, maar helemaal zeker weten we dat ook niet. Het is eigenlijk een hypothese, die we nooit goed kunnen toetsen. Je zou het wel kunnen toetsen, maar voor dat soort onderzoek is helaas nooit geld beschikbaar.

29:28 SW: Dan ga ik verder naar de volgende vraag. In Morphan simuleer je dus de stuifkuil loodrecht aan het kustprofiel. Realistisch gezien oriënteert de stuifkuil zich naar de windrichting. Heeft u misschien ook inzicht in de aanpassingssnelheid van een kuil als het windklimaat dan veranderd?

29:52 BA: Nee, want dan moet je dus ook over een behoorlijk lange tijdschaal eigenlijk heel gedetailleerd onderzoek gedaan hebben naar het zandtransport en dan dat moeten hebben gekoppeld aan allerlei windgegevens. Dat is heel erg lastig, omdat je dan eigenlijk lokaal windgegevens moet hebben, omdat zo'n stuifkuil zijn eigen windveld beïnvloed. De wind draait ook door de stuifkuil heen. Dus het kan zijn dat de windrichting die je in een stuifkuil meet heel anders is dan de windrichting die je aan het strand meet. Dus dat is best wel lastig.

30:42 SW: In het onderzoek rondom project Noordvoort wordt ook vastgesteld dat erosie door stormvloed een kerf extra kan activeren. Is dit effect alleen merkbaar in het opstarten en in stand houden van het verstuivingsproces? Of draagt het ook echt kwantitatief bij aan het verstuivingsproces?

31:08 BA: Het is in Noordvoort waarschijnlijk een van de triggers geweest waarom de kerfvorming zo snel op gang kwam. Toen de boel daar aangelegd werd, had je eerst een hele statische zeereep met embryonale duinen ervoor. De embryonale duinen vingen een deel van het strandzand in. Vrij direct na de aanleg is er een storm geweest met een stormvloed en toen is die embryonale duinenrij weggeslagen. Wat wij eigenlijk weten uit het verleden is dat in gebieden waar je echte afslag had, dus waar al afslag lag, vaak de winderosie veel effectiever was dan op plekken waar dat niet zo was. Dus afslag wordt vaak gezien als een trigger eigenlijk voor het opgang komen voor winderosie. Dat was in dit geval ook dus heel duidelijk zo. Door het optreden van die hoge waterstand en het wegslaan van die kleine embryonale duintjes is die kerfontwikkeling eigenlijk heel goed op gang is gekomen. Met dat proces zou je dus wel rekening kunnen houden, bijvoorbeeld in je suppletiebeleid. Stel dat jij hier extra gaat suppleren om ervoor te zorgen dat zand naar binnen komt dan zou je dat op een bepaald moment kunnen doen en op zo'n manier dat juist de winderosie heel goed op gang is gekomen. Dan zorg je voor extra zand op het strand en dan weet je eigenlijk min of meer zeker dat dat zand dan ook naar binnen zal stuiven. Terwijl als je eigenlijk continu suppleert of heel regelmatig suppleert voordat er afslag plaats kan vinden, dan zorg je eigenlijk voor een continu overschot aan het zand op het strand en daar kunnen juist embryonale duinen in gaan groeien. Daarmee onderdruk je dan eigenlijk juist het systeem of de dynamiek in het systeem die je op gang wil brengen. Met de manier waarop je suppleert kan je dat waarschijnlijk wel een beetje sturen.

33:37 SW: Als zo'n kerf eenmaal op gang is gekomen, heb je dan nog steeds dat het misschien zou kunnen dichtgroeien vanwege suppleties?

33:47 BA: Ja. Stel dat het helemaal goed loopt en dat er besloten wordt om een hele grote suppletie daar neer te leggen. Ook leg je die suppletie dan vrij hoog aan, dus die leg je bijvoorbeeld met een banket aan op 3.5 meter NAP. Dan komen er helemaal geen stormvloeden meer overheen. Dan zie je vaak dat het fijne zand heel snel uit een suppletie stuift, maar dat er allerlei schelpen etc. achterblijven, want suppletiezand is bijna altijd rijk aan schelpen. Dan ontstaat er een woestijnvloertje, een soort schelpenvloertje, en dan wordt de verstuiwing juist heel erg onderdrukt. Dus dan leg je een suppletie aan met als doel om extra zand in het systeem te krijgen, maar ondertussen breng je dat mechanisme om zand naar binnen te krijgen eigenlijk om zeep. Dat speelt bijvoorbeeld nu op Schouwen. Schouwen is ook een experiment met dynamiseren op heel grote schaal van de duinen en in dat kader zijn er ook een aantal kerven gegraven. In de Meeuwenduinen op de kop van Schouwen ligt ook een geul voor de kust en die geul dringt altijd heel erg naar de kust toe. Dus die moeten ze steeds weer door te suppleren eigenlijk van de kust af houden. In die suppletie moet dan een bepaald volume inpassen en dat krijgen ze eigenlijk alleen maar voor elkaar door die suppletie op 3.5 meter NAP aan te leggen of misschien zelfs wel 4 meter NAP. Als je dat gaat doen dan weet je alweer zeker dat je het hele verstuiwingsproces behoorlijk negatief gaat beïnvloeden.

35:27 SW: Dus echt de hoeveelheid zand die in 1 keer naar binnenkomt is heel belangrijk ook?

35:32 BA: Ja en vooral waar je de suppletie legt. Stel dat je met suppleren zo'n systeem wil voeden dan moet je dus zorgen dat het zand verstuiikbaar blijft. Dan moet je het zand dus niet te hoog aanleggen en je moet zorgen

dat het regelmatig door de golven overspoelt kan worden zodat het steeds goed gesorteerd blijft. Op die manier krijg je niet zo'n aanrijking van het schelpenvloertje, maar dan blijft het zand goed verstuifbaar. Je kan het ook heel goed zien op de zandmotor. Die is ook heel hoog aangelegd. Op sommige plekken ligt ie ook hoger dan 5 meter NAP. Daar komt de zee dus echt nooit overheen en dan zie je op hele grote oppervlakken dat het helemaal bezaait is met schelpen. Daar stuift het helemaal niet meer.

36:23 SW: Dus strandsuppleties zijn voor de dynamisering niet echt ideaal eigenlijk?

36:29 BA: Niet echt handig nee. Tenzij je het heel laag kan doen, maar dat zou eigenlijk betekenen dat je het dan vaker zou moeten doen. Bewijs van spreken zou je zelfs ieder jaar een kleine suppletie moeten doen, die zou je dan op de laagwaterlijn moeten leggen zodat het water er wel steeds overheen kan. Dan zorg je er dus wel voor dat er steeds zand in het systeem zit en dat dat zand ook verstuifbaar. Dus dat het ook naar binnen kan stuiven.

37:01 SW: Dat doet me ergens aan denken. Ik had namelijk gelezen in een onderzoek van Bas Huisman dat vooroeversuppleties op begeven moment misschien niet meer zouden kunnen zorgen voor een zandtransport naar de duinen vanwege de zeespiegelsijging. Als die een bepaalde mate van stijging bereikt dan zou de suppletie de duinen niet meer voeden. Wat vind u daar eigenlijk van? Want dan zouden we misschien geen keus hebben naast het doen van strandsuppleties.

37:34 BA: Dat zou kunnen, maar dan zou je het nog steeds laag op het strand kunnen aanbrengen. Volgens mij hebben ze met de manier waarop ze een suppletie op het strand leggen heel veel mogelijkheden, want zoals het meestal gebeurt is dat het zand wordt opgespoten en dan wordt het met bulldozers verder verspreid. Je kan het op 3 meter NAP leggen, je kan het op 5 meter NAP leggen, maar je kan het natuurlijk ook op 1 meter NAP leggen. Als je het op 1 meter NAP kunt leggen, dan weet je zeker dat als er een stormvloed komt dat die er gewoon overheen gaat. Misschien kan je het zelfs nog wel tot 1.5 meter of 2 meter NAP leggen, want je hebt stormvloeden die daar ook nog overheen gaan. Alleen wordt het dan wat minder frequent overspoelt. Dat is wel denk ik een manier waarop je het systeem zou kunnen beïnvloeden.

38:36 SW: Dan had ik nog een vraag over de levensduur van stuifkuilen. Heeft u daar ervaring mee of is dat gemonitord?

38:45 BA: Dat is echt heel erg variabel. Dat is wel heel erg lastig. Dat hangt ook van best veel dingen af. We weten uit het duingebied dat er altijd wel ergens stuifkuilen liggen en dat die op begeven moment weer dichtgroeien. Er zijn weinig stuifkuilen die echt tientallen jaren open zijn. Dus het is meestal het oplichten van iets en dan weer uitdoven. Maar dat gaat eigenlijk altijd over stuifkuilen in het binnenduin en die zijn toch echt anders dan stuifkuilen in de zeereep. Tot 1995 werden stuifkuilen in de zeereep gewoon helemaal nergens toegelaten. Ze werden altijd dichtgeschoven en gelijk ingeplant. Vanaf 1995 wordt het dan wel hier en daar toegelaten, maar er zijn nog niet zo heel veel plekken waar ze echt liggen. Op Terschelling en in het Noord-Hollands Duinreservaat zijn eigenlijk alle stuifkuilen die er in de zeereep ontstonden uitgegroeid tot kerven. Op Vlieland bijvoorbeeld heb je een stuk waar wel echt stuifkuilen ontstaan zijn die nog steeds als stuifkuil aanwezig zijn. Verder heb je er eigenlijk niet zo veel die autonoom ontstaan zijn. Nu

wordt er heel veel gegraven en heel veel aangelegd en er komen steeds meer stukken kust waar kerven of stuifkuilen zijn aangelegd, maar echt stuifkuilen zoals bij Noordvoort is toch ook nog redelijk uniek.

40:28 SW: Weet u ook of er misschien een moment is in de tijd of een kerf dan inactief en vormvast kan raken onafhankelijk van nabeheer? Dat het dan bijvoorbeeld alleen functioneert als doorgeefluik?

40:49 BA: Ja, dat zou wel kunnen. Ik ben even aan het denken aan de stuifkuil bij Wassenaar. Dat is dan wel een echte stuifkuil, die ooit ontstaan is in de zeereep. Ik geloof dat die in 1993 is ontstaan, zo uit mijn hoofd, en die lijkt heel stabiel. We hebben daar een aantal jaren metingen in gedaan en dan bleek iedere keer toch dat er wel weer zand uitstoot. Het is ook wel weer een beetje een afwijkende situatie, omdat je op die plek echt een nieuwe zeereep voor de oude heb gekregen. Dus die stuifkuil ligt nu eigenlijk een stukje van het strand af. In die zin is het ook geen doorgeefluik meer, want er komt helemaal niks meer binnen vanaf het strand, omdat het zand allemaal in de nieuwe zeereep ingevangen wordt. Ik kan me wel voorstellen dat zo'n kerf redelijk vormvast zou kunnen zijn en inderdaad alleen maar als doorgeefluik fungeert zonder dat er verder heel veel in gebeurt.

41:55 SW: Is zo'n moment dan ook vast te stellen? Of is het voor mij mogelijk om zo'n moment vast te stellen in een simulatie? Of is dat inderdaad gewoon te onzeker?

42:05 BA: Ja, dat is te onzeker.

42:16 SW: Dan had ik nog een vraag over de suppletie. In hoeverre heeft suppletie invloed op de ontwikkeling en het zandtransport van een kerf? We hebben het hier natuurlijk wel al over gehad.

42:33 BA: Ja, dat is dus heel belangrijk.

42:35 SW: Want valt het effect van een bepaalde zandinput in het duin als gevolg van suppletie te kwantificeren?

42:46 BA: Ja, dat is dus iets waar Gerben Ruessink onder andere mee bezig is, die heeft wel wat berekeningen gemaakt voor de kerven bij Bloemendaal. Het lijkt erop dat als er een kerf ligt dat er op die plek meer zand naar binnen komt dan als hij er niet zou liggen. Zo'n kerf trekt zand. De hoeveelheid zand die er beschikbaar is hangt voor een deel van het suppleren af. De kusten waar niet gesuppleerd wordt daar zal je zeker bij een stijgende zeespiegel op begeven moment gewoon een zandgebrek hebben. Daar kun je dan kerfontwikkeling etc. bij krijgen, maar ondertussen zal de kust ook achteruit gaan. De kustlijn schrijft terug, maar het zou wel kunnen zijn dat er zoveel zand naar binnen stuift dat het duingebied daardoor groeit en dat het harder groeit dan dat de kustlijn achteruit gaat. Zo moeten namelijk onze duinen gevormd zijn. Onze duingebieden zijn eigenlijk allemaal het resultaat van een eroderende kust. Toch kun je dan een uitbreiding van het duingebied krijgen, maar aan de landinwaartse kant dan.

44:14 SW: Heeft u verder nog tips wat betreft de simulatie van de ontwikkeling van een kerf in tijdstappen van 10 jaar en dan ongeveer tot 2100?

44:31 BA: Ik denk als je wat verder bent en je bent met scenario's bezig dat ik misschien wel nog wat tips zou kunnen hebben. Ook omdat het me dan meer duidelijk wordt hoe je je modulering in gang gaat zetten en hoe je met die scenario's dan om zou gaan of zou kunnen gaan. Ik denk dat ik dan misschien wel wat nuttige tips zou kunnen hebben, maar op dit moment vind ik het eigenlijk heel moeilijk om daar wat over te zeggen.

45:08 SW: Ja, dat snap ik. Het was meer zo van als ik aan de hand van de vragen toch iets niet heb besproken waarvan u denkt van dit is ook nog handig. Daarom had ik meer die vraag gesteld. Maar inderdaad, in een verder stadium dan zouden we meer in detail kunnen gaan daarover.

45:25 BA: Ja. Ik vind het prima als je me nog een keer benaderd als je wat verder bent.

45:32 SW: Dat zou heel fijn zijn. De laatste vraag dan nog. In het onderzoek is besloten waarschijnlijk alleen te kijken naar zeespiegelstijging en het toenemende aantal stormvloeden als gevolg van klimaatverandering. Verdere factoren zoals dan toenemende regenval en eventuele effecten van vegetatietoename die zijn buiten beschouwing gelaten, omdat het simuleren van het effect binnen Morphan te ingewikkeld wordt. In hoeverre heeft u zelf signalen gevonden dat in natte jaren er misschien significant minder zand doorstoof?

46:17 BA: Dat is dus ook heel erg ingewikkeld. Heel erg tegenstrijdig vaak. We weten dat de afgelopen 10 jaar weer natter zijn geworden en dat het groeiseizoen verlengt is en de vegetatie harder groeit en dat er stikstofdepositie is. Alles wijst er eigenlijk op dat het duin verder vast zou moeten lopen, maar ondertussen zien we bijvoorbeeld aan de kerven bij Bloemendaal dat de verstuiving die daar optreedt echt ongekend groot is. Het is dynamischer dan we hadden durven hopen en dan iedereen ooit heeft gezien hier in Nederland. Dus ondanks dat er meer regen valt en dat het groeiseizoen verlengt is, is de verstuiving daar alleen maar toegenomen. Ik heb zelf heel veel pogingen gedaan om metingen van zandtransport te correleren aan weersomstandigheden en dat levert echt altijd chaos op. Dus in algemene zin kan je zeggen dat als het regent dan stuift het niet, maar dat is ook niet zo, want het kan heel hard stuiven als het regent. Wat je wel kan zeggen is dat als de neerslag toeneemt, dan kan je verwachten dat de randvoorwaarden voor verstuiving minder gunstig worden, maar die kunnen bijvoorbeeld opgeheven worden juist omdat in zo'n kerf de dynamiek heel erg groot is. Zo'n kerf stuwt en stuurt de wind heel erg. De windsnelheid in zo'n kerf kan echt misschien wel 2 of 3 keer zo hoog zijn dan wat je op het strand meet. Dan kan het nat zijn, maar stuift het gewoon nog steeds als een bezetene. Dus ik vind dat een hele goede aanname (om alleen het effect van zeespiegelstijging en stormvloeden te simuleren). Je kan eventueel achteraf over je modelresultaten iets zeggen over de mogelijke effecten van een langer groeiseizoen of meer neerslag, maar zeespiegelstijging en stormvloeden zijn sowieso veel belangrijker.