

RIJKSWATERSTAAT & DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

A Method to identify potential Climate Change Impacts
on Infrastructural Assets & Further Steps for Adaptability

A case study on

The Afsluitdijk



Franka Pietersen

Front page: Gates of Light by Daan Roosegaarde (Roosegaarde, 2016).

Studio Roosegaarde had the assignment to strengthen the value of the Afsluitdijk as an icon for the Dutch hydraulic engineering, Dutch design and innovation. Gates of Light, Glowing Nature and Windvogel are the three works that are installed at the Afsluitdijk by studio Roosegaarde. Gates of Light (Figure I) is a permanent installation which illuminates the 60 lifting towers through retro reflection using the headlamps of passing cars (Roosegaarde, 2016).



Figure I Gates of Light

A Method to identify potential Climate Change Impacts on Infrastructural Assets & Further Steps for Adaptability

A case study on the Afsluitdijk

Author

Name: F. (Franka) Pietersen
Student number: 4154088
Email address: franka_p_@hotmail.com

Graduation Thesis

University: TU Delft
Faculty: Civil Engineering and Geosciences
Track: Construction Management and Engineering
Course: CME2001 Master Thesis Preparation and CME2000 Graduation Thesis

Committee

Chairman Prof. Dr. Ir. M.J.C.M. (Marcel) Hertogh
Faculty of Civil Engineering and Geosciences
Supervisor Ir. C. (Coen) Kuiper
Faculty of Civil Engineering and Geosciences
Supervisor Dr. M.L.C. (Mark) de Bruijne
Faculty of Technology, Policy and Management
External Supervisor W. (Walter) Nieman
Rijkswaterstaat

Thesis Defense

Submission date: 29-12-2018
Presentation date: Thursday the 6th of December 2018 at 15:00 in room 4.98 Faculty Civil
Engineering and Geosciences

Acknowledgement

This graduation thesis is the final stage of the fulfillment of the MSc Construction Management and Engineering at the TU Delft and is written in collaboration with Rijkswaterstaat. During the master's program, I developed a keen interest in infrastructural asset management in combination with climate change which shaped steadily into this subject. Looking back, I am still very thrilled with the choice of my subject and during the past seven months I did not get tired of it. In addition, the Afsluitdijk is a trending topic within the construction industry and most of all an iconic infrastructure and I feel honored for being involved in the team and learning so much about it. I look back at a challenging and moreover an educational period in which I learned a lot. But overall, I enjoyed writing this thesis, it is so much more fun than taking exams.

I would like to thank Rijkswaterstaat and all the team members of the Afsluitdijk project for all the knowledge and guidance they provided during my internship. I experienced Rijkswaterstaat as a friendly organization which let me free in writing my thesis. Everybody was enthusiastic about helping me, taking time to advise me and showing interest in my process. I would like to thank all the people I interviewed of Rijkswaterstaat and the KNMI. In particular, I would like to thank my supervisor Walter Nieman of Rijkswaterstaat for introducing me in the team and guiding me through this process.

I would also like to express my gratitude to the rest of my graduation committee for all their time, knowledge and effort. Coen Kuiper was involved since the beginning and helped me starting this research. He helped me steering in the right direction and with the technical aspects of the Afsluitdijk. I also would like to thank Marcel Hertogh, the chair of my committee. During the meetings, he was very enthusiastic about my topic which was very pleasant and made me enthusiastic as well. His critical and direct questions forced me to bring the research to a more in-depth level. Mark de Bruijne helped me a lot with his detailed comments which looked like a challenge at first, but looking back they improved my report a lot and brought my research to a sufficient scientific level.

Last but not least, I would also like to thank my family and friends for making this journey enjoyable by taking care of the needed breaks and distractions. I would also like to thank my parents and brothers for revising my report and giving feedback from a fresh viewpoint.

Franka Pietersen
Rotterdam, November 2018

Summary

Climate change is likely to affect our infrastructures in the Netherlands and seems to accelerate: sooner, faster, stronger. Uncertainties on future changes are large. This stresses the need for adaptable infrastructure. Also, Dutch policy decisions are becoming stricter and our norms and values change. Asset owners cannot assume a certain final situation of the infrastructure and the impacts on it due to climate change. This report answers the following research question: **How can existing infrastructural asset designs in the Netherlands be adapted to anticipated current and future expected climate change effects?**

Adaptability is defined as: the capability of the management and the design of infrastructural assets in the Netherlands to deal with uncertainties, both in size as pace, of climate change in the year of 2085. A method is developed to explore what the effects of climate change are on infrastructure and what further steps can be taken to make the infrastructure adaptable. The Afsluitdijk is used as a case study and has five embedded sub-assets: the dam, motorway, outlet sluices, ship locks and bridges. So, the method is executed five times. Analyzing opportunities due to climate change is also possible with the method, but this first application is focused on generating knowledge about the possible problems.

1. What are the expected impacts of climate change on built infrastructural assets in the Netherlands?

This first sub-question is answered by developing step 1 of the method which is shown in Figure II. A bigger version can be found on page 24. Nine climate change effects are distinguished for the Netherlands in the scenario W_H of the KNMI in 2085. The climate change effects are combined with the asset parts and all combinations are assessed separately. An expert reflects on the combination of climate change impacts and asset part and elaborates on how the climate change effect impacts the reliability, safety or maintenance of the asset. This step is applied on assets before maintenance plans (Afsluitdijk 1932 design) and after maintenance plans (2020 design). This resulted in 21 identified possible problems for the 2020 design of the Afsluitdijk.

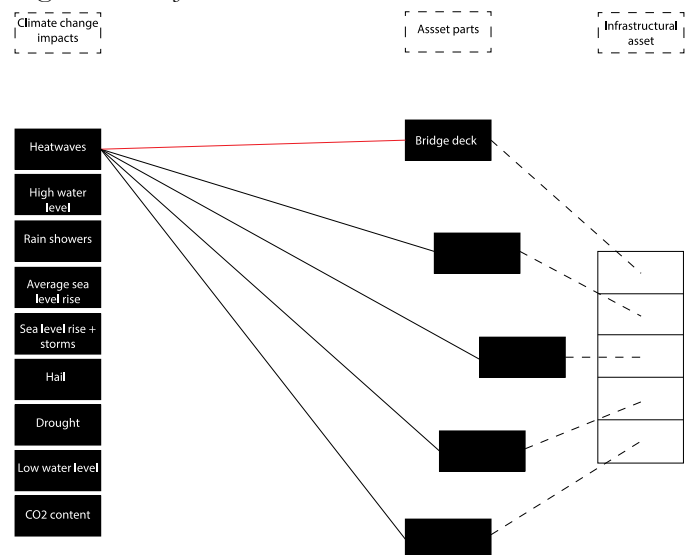


Figure II Method Step 1

2. What are the problems that need to be adapted to the impacts of climate change in future assets?

The second question corresponds to the second step of the method and is based on the idea that some identified problems are not that complicated or knowledge can be acquired somewhere else. In this report is looked at foreign situations that are comparable to the Afsluitdijk's circumstances. Some of the 21 identified problems can easily be solved. This minimizes the number of problems and the focus is on the residual problems.

3. What steps can be taken to adapt infrastructural assets to those problems?

The answer to the third sub-question is an overall method that answers the research question. This method exists of six steps of which the first two are elaborated sub-question 1 and 2. Compound events should be explored and a qualitative risk analysis, for example an FMECA, can be done to prioritize the problems. Fifth step is to create solutions and sixth includes costs by using a LCC to determine if and when to implement the solutions. The total method shown in Figure III. A bigger and more extended version can be found on page 29.

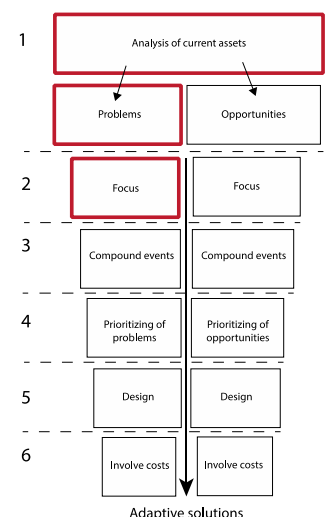


Figure III Total Method

A structured approach on how to assess the impact of climate change on infrastructure is lacking so far. The method makes sure all aspects are considered and helps the expert to think of all theoretical problems that have not occurred yet but are in the future a possible problem. The number of conducted interviews was small. An implication of this is that not a complete overview of all possible problems is gained, since not all experts agree with each other. Those experts have their own framework of what might be problems for the asset. Therefore, it is only possible to gain a complete overview within the framework of the expert.

Theoretically every bolt and nut can be explored, but for this thesis the asset was divided in 4 to 6 asset parts. For the Afsluitdijk this level of depth was sufficient because when assessing an interdisciplinary project, the interaction among sub-assets is more interesting instead of a detailed analysis. In a next application of the method the focus should be more on the interconnections among the sub-assets. When a single (smaller) asset is assessed, it is advisable to delve deeper in the technical aspects.

Assets that are an integral system are preferred. The Afsluitdijk is interconnected to its environment and hard boundaries are difficult to determine. This makes the Afsluitdijk not an ideal case study, but this interconnectedness is typical for large scale infrastructural projects and those projects are often most interesting. Next time, the aspects that need to be included have to be schematized beforehand and clear boundaries determined. This way interdisciplinary projects are assessed without getting lost in the details. This was not done because the method was developed as the research proceeded and gradually shaped during the process.

Rijkswaterstaat recognizes the surplus of water problems in the new design. However, drought, heat waves and a low water level are three climate impacts that are not taken into consideration in the new design of 2020. Summer related problems are explored by Rijkswaterstaat but have not yet received the attention it deserves. Different types of problems due to hot summers will be experienced and in 2085 this impact is likely to be big.

Rijkswaterstaat is unprepared to a situation where climate change effects are more severe than was estimated in their assumptions. On top of that, Rijkswaterstaat is inclined to address problems of big infrastructural problems by cutting them off in smaller projects and try to solve them. However, in large projects it is better to have an integral solution since all aspects are interconnected and influence one another. The method provides this integral viewpoint and allows the user to make long-term decisions while taking the uncertainties of climate change into account. Therefore, the method is in particular suitable for asset owners like Rijkswaterstaat. By having insight in how climate change affects their assets in the long-term, short term asset management can be adjusted and better, integral decisions can be made. Other involved party's like asset managers will benefit less from the method since they have different incentive and a short-term viewpoint.

Some indicated problems will always be a risk. Those problems remain uncertain since they are simply not easy to predict. Gaining insight in those possible problems is profitable because the process to think of solutions can take a long time. And when a problem actually occurs, probably right at that same time a choice needs to be made on adjusting the infrastructure. So, implementing solutions right away is needed.

By using the method, choices in design and management of the infrastructural asset can be made with confidence. This does not guarantee that the outcome of a risky decision will be optimal. But the decision will be rational in the face of uncertainty and that the repeated application of the method will on the long run be more beneficial.

List of Contents

List of Figures	XII
List of Tables	XIII
1. Research Introduction	1
1.1 Climate Change in Infrastructure	1
1.2 Reasons to be adaptable	2
1.3 Problem description.....	2
1.4 Research objective and research questions	3
1.5 Definitions	4
1.5.1 Climate Change Effects.....	4
1.5.2. Infrastructural Assets.....	4
1.5.3. Asset management	4
1.6 Report outline	6
2. Climate Change.....	7
2.1 Global Warming.....	7
2.2 KNMI	7
2.3 Scenarios.....	8
2.4 Impacts on Infrastructure.....	9
2.4.1 Temperature rise.....	10
2.4.2 Precipitation.....	11
2.4.3. Sea level rise.....	13
2.4.4. Wind and Storm.....	14
2.4.5. Sight, Fog, Hail, Thunder	15
2.4.6. Clouds, solar radiation, evaporation, drought.....	16
2.4.7. CO ₂ Content.....	17
2.5 Climate impacts.....	19
3. Research Methodology.....	21
3.1 Developing a method.....	21
3.2 Step 1: Identifying and assessing anticipated climate change effects.....	22
3.2.1. Climate change effects.....	22
3.2.2. Infrastructural asset.....	23
3.2.3 Effects of climate change on existing infrastructural assets	24
3.2.4 Uncertainties after recent insights of climate change are incorporated	25
3.3 Step 2: Minimizing indicated problems	27
4. Total Method.....	29
4.1 Step 3: Compound events	30
4.2 Step 4: Prioritizing of problems	30
4.3 Step 5: Design.....	31
4.4 Step 6: Involve costs.....	31
5. Case Study	33
5.1 Case selection.....	33
5.2 Analysis of the Afsluitdijk.....	35
5.2.1. Den Oever.....	37
5.2.2 Breezanddijk.....	38
5.2.3. Kornwerderzand.....	39
5.3 Embedded cases.....	40
5.4 IJsselmeer water level	41
5.4.1. Winter water level.....	41
5.4.2. Summer water level.....	43
6. Sub-case studies.....	45
6.1 The Dam.....	45
6.1.1. Maintenance	46

6.2 Motorway	48
6.2.1. Maintenance	49
6.3 Outlet Sluices.....	50
6.3.1. Maintenance	51
6.4 Ship Locks	52
6.4.1. Maintenance	53
6.5 Bridges.....	54
6.5.1. Maintenance	55
6.6 Adaptability between 1932 and now	56
7. Method Step 1: 1932 design	59
7.1 Results from the interviews.....	59
7.2 CO ₂ content in the air and concrete	61
7.3 Dam	62
7.3.1 Explanation of Table 2.....	63
7.3.2. Climate change impacts.....	63
7.4 Motorway	64
7.4.1 Explanation of Table 3.....	65
7.4.2. Climate change impacts.....	65
7.5 Outlet sluices	66
7.5.1. Explanation Table 4.....	67
7.5.2. Climate change impacts.....	67
7.6 Ship locks.....	68
7.6.1. Explanation of Table 5.....	69
7.6.2. Climate change impacts.....	69
7.7 Bridges.....	70
7.7.1 Explanation of Table 6.....	71
7.7.2. Climate change impacts.....	71
8. Method Step 1: 2020 design.....	73
8.1 New in 2020 design.....	73
8.1.1. Dam reinforcement.....	73
8.1.2. Motorway	74
8.1.3. Ship locks	74
8.1.4. Bridges.....	74
8.1.5. Outlet sluices.....	74
8.2 Problems in the 2020 design.....	76
8.2.1. Dam	76
8.2.2. Motorway	77
8.2.3. Outlet Sluices	77
8.2.4. Ship Locks	78
8.2.5. Bridges.....	78
8.3 Indicated problems.....	79
9. Method Step 2	81
9.1 Refinement of problems.....	81
9.2 Bridge deck example	81
9.2 Motorway ground work example.....	83
9.3 Specific solutions	83
10. Discussion.....	85
10.1 The method	85
10.2 For what asset	85
10.3 For whom	86
10.4 When	87
10.5 How.....	87
10.6 Importance.....	88
11. Conclusion	89
11.1 Answer reserch question.....	89
11.2 Conclusion case study.....	90

11.3 Conclusion on method	91
11.4 Further research	91
References	93
Appendices	97
I. General interview form.....	97
II. Interview transcripts.....	99
1. Emiel Boerma – Dam.....	99
2. Bart Noordman – Outlet sluices	104
3. Joost Gulikers – Concrete	108
4. Bart Bartelds – Motorway.....	112
5. Menno Rijkers – Outlet sluices.....	115
6. Menno Rijkers – Ship locks.....	122
7. Eric Regeling - Dam	126
8. Johan den Toom - Bridges	132
9. Arjen van der Sligte - Motorway.....	136

List of Figures

Figure 1 IAM Asset's life cycle stages. Source: IAM (2015)	4
Figure 2 IAM Conceptual model. Source: IAM (2015).....	5
Figure 3 IAM Subject groups in detail. Source: IAM (2015).....	5
Figure 4 Schematic overview of the enhanced greenhouse effect. Source: (Klaassen, 2016)	7
Figure 5 Climate scenarios of the KNMI. Source: KNMI	8
Figure 6 Average temperature in the Bilt over the years. Source: KNMI (2015).....	10
Figure 7 Results of Meehl and Tebaldi (2004) study	11
Figure 8 Yearly precipitation in the Netherlands. Source: KNMI (2015).....	11
Figure 9 Precipitation in the future in the Netherlands. Source: KNMI (2015).....	12
Figure 10 Number of days with >50 mm rain in one of the 325 stations. Source: KNMI (2015)	12
Figure 11 Number of days with >50mm precipitation in W _H 2085. Source: own figure.....	13
Figure 12 Sea level at the Dutch shore. Source: KNMI (2015)	13
Figure 13 Indicator storm conditions above the North-sea. Source: KNMI (2015)	14
Figure 14 Average days a year of days with thunder. Source: KNMI (2015).....	15
Figure 15 Hours of mist. Source: KNMI (2015).....	16
Figure 16 Atmospheric carbon dioxide. Source: NASA (2018).....	17
Figure 17 Predicted low, mid and high estimates of CO ₂ concentrations. Source: Stewart et al (2011)	18
Figure 18 Division of climate change effects in the Netherlands. Source: own figure.....	22
Figure 19 Schematic division of infrastructural asset parts. Source: own figure	23
Figure 20 Example of step 1 assessment of the impact heat waves on infrastructural assets. Source: own figure.....	24
Figure 21 Application of first step of method before and after maintenance plans. Source: own figure	26
Figure 22 Total method. Source: own figure.....	29
Figure 23 Two-by-two Matrix of Yin (2012).....	33
Figure 24 Graphical Location of the Afsluitdijk. Source: own figure.....	35
Figure 25 Zoomed Figure of the Afsluitdijk. Source: own figure	36
Figure 26 Den Oever. Source: own figure	37
Figure 27 Breezanddijk. Source: own figure	38
Figure 28 Kornwerderzand. Source: own figure	39
Figure 29 Local differences in water level of the IJsselmeer due to wind. Source: Bos (2014)	41
Figure 30 Extreme water level of the IJsselmeer. Source: own figure	42
Figure 31 Limited opportunities to discharge water. Source: KNMI (2015)	42
Figure 32 Cross section of the dam. Source: own figure	45
Figure 33 Current materials Afsluitdijk. Source: Rijkswaterstaat (2015).....	45
Figure 34 Cross section motorway. Source: overzicht wegverharding Afsluitdijk (1972)	48
Figure 35 Double roof profile. Source: own figure	49
Figure 36 Photograph of the outlet sluices of Kornwerderzand. Source: Houdt (2011)	50
Figure 37 Original details. Source: Areal tekeningen spuiccomplexen (1930)	50
Figure 38 Ship locks Kornwerderzand. Source: Directie IJsselmeergebied (1997)	52
Figure 39 Ship locks Den Oever. Source: Directie IJsselmeergebied (1997)	53
Figure 40 Afsluitdijk bridges closed for ships (Kalma, 2018)	54
Figure 41 Afsluitdijk bridges opened for ships (Kalma, 2018)	54
Figure 42 Ship passages. Source: Witteveen + Bos (2016)	54
Figure 43 Technical drawings. Source: Rijkswaterstaat (2016).....	55
Figure 44 Total method. Source: own figure.....	60
Figure 45 New dike revetment. Source: Levvel (2017)	73
Figure 46 Cross section of new dam. Source: Levvel (2017)	73
Figure 47 Total method. Source: Own figure.....	76
Figure 48 Total method. Source: own figure.....	81
Figure 49 Valencia Port Swing Bridge opened for traffic (MC2 Estudio De Ingenieria , 2017)	82
Figure 50 Valencia Port Swing Bridge Closed for traffic (MC2 Estudio De Ingenieria , 2017)	82

List of Tables

Table 1 Climate Change Impacts of the KNMI over the years. Source: own table.....	19
Table 2 Indicated problems of climate scenario W_H on the dam in 2085. Source: own table.....	62
Table 3 Indicated problems of climate scenario W_H on the motorway in 2085. Source: own table.....	64
Table 4 Indicated problems of climate scenario W_H on the outlet sluices in 2085. Source: own table.....	66
Table 5 Indicated problems of climate scenario W_H on the ship locks in 2085. Source: own table.....	68
Table 6 Indicated problems of climate scenario W_H on the bridges in 2085. Source: own table.....	70
Table 7 Climate change impacts that have an effect on the bridge deck. Source: own table	81
Table 8 Climate change impacts that have an effect on the groundwork of the motorway. Source: own table	83

1. Research Introduction

In this chapter, the research is introduced. The first section starts with general information on climate change and several examples of problems worldwide of climate change that are related to infrastructural assets are given. Climate change tends to be uncertain, so the need for adaptability is introduced in section 1.2. After this the problem description is outlined followed by the research objective and question and sub-questions. Definitions in the research question are briefly described in section 1.5. Concluding an outline of the whole report is given in section 1.6.

1.1 Climate Change in Infrastructure

In today's world, climate change is happening, and people are getting more conscious about the effects that climate change has on their environment. Media informs us about weather records that are broken and other extremes that are starting to get noticed. Not only the Netherlands has to deal with weather extremes, e.g. heavier rainfall and dryness, but also the rest of the world is experiencing more extremes. In January 2018, the east part of America and Canada had to deal with extreme winter weather with snow storms and temperatures below -40 degrees Celsius. For example, in Florida, it snowed for the first time in 30 years ("Sneeuw, gladheid en ijzige kou: winterweer blijft oosten VS teisteren", 2018). At the same time, the northwest of Europe also experiences climate related problems. In France and Germany, lots of rainfall and melting snow caused big floods and people needed to be evacuated. Because of the floods in France and Germany, the water level in the Netherlands was high and there was a risk of floods ('Problemen in Duitsland door hoogwater', 2018).

Climate change is likely to increase the Earth's average temperature, change extreme temperatures in different parts of the world, raise sea levels, and alter precipitation patterns and increase the incidence and severity of storms (Transportation Research Board of the National Academies, 2013). The Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI, Royal Dutch Meteorological Institute) is engaged in analyzing the climate in the Netherlands and has made projections on sea level rise and weather impacts. However, a recent study of De Winter, Reering, Slangen, De Vries, Edwards & Van De Wal (2017) discovered that sea level rise could be more than the KNMI expected.

Climate change is likely to affect our infrastructures in the Netherlands (Chappin & Van der Lei, 2012). Extreme weather conditions and more flooding have their effect on the infrastructural assets around us. For example, something people can experience in their daily lives is that during hot summers, lots of bridges are stuck and cannot be closed. Therefore, the maintainer has to cool down the bridges with water from the rivers underneath them. ('Bruggen Amsterdam dicht vanwege hitte, deel scheepvaart gestremd', 2018). Companies which are dealing with the maintenance and management of infrastructural assets should become more aware of the impact climate change has on their assets and subsequently their asset management. Since the environment is changing, these companies could use an advice in what way climate change has an impact on the way of managing their assets.

While all of us experience the (indirect) effects of climate change in our daily lives, there are lots of ideas on how to prevent further CO₂ emission. Solutions are already developed to be more energy-efficient or to generate sustainable energy. This is also happening in the infrastructural sector. For example, the Ramspol bridge. This is a bridge that is equipped with solar panels to open and close energy neutrally (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, n.d.).

However most of such ideas are developed for newly built assets in order to reduce CO₂ emission. Not much research has been performed on how the climate change will affect the assets themselves. Extreme weather events are likely to become a bigger issue to asset owners in the future (Transportation Research Board of the National Academies, 2013). Therefore, this thesis is conducted in which the relation between infrastructural asset management and climate change is analyzed. For Rijkswaterstaat in particular this is

very interesting, since there is a big maintenance task the coming ten years. About 80 bridges and locks need to be renovated (NOS, 2018). A recent example of August 2018 demonstrates the importance: a bridge in Genua, Italy collapsed and killed 43 people. This is an example of failure of infrastructure. The cause was probably a combination of bad weather conditions, lack of maintenance, lack of inspections and expansive growth of traffic (Speksneijder, 2018).

1.2 Reasons to be adaptable

Climate change seems to accelerate: sooner, faster, stronger. Uncertainties on future changes are large (Roggema, 2009). It is difficult to be sure about the amount of sea level rise infrastructure has to deal with. There is always an uncertainty in the calculations of the amount of sea level rise. Recently, De Winter et al., (2017) discovered that the Netherlands is not prepared for a worst-case scenario. They describe that most studies on climate change assume an average percentage of melted snow and ice, but there is also a ten percent chance that more snow will melt. Climate researchers did not yet take into account this ten percent. This means there is a ten percent chance of more sea level rise the scientists do not expect. According to Dutch law, dikes and dunes have to protect the land for storms that have a 0,0001% of occurring. The design of infrastructural assets takes robustness and safety factors into account. However, the effect of this additional increase in sea level rise and what it means for the Netherlands has not yet been investigated. Lots of articles can be found that predict the sea level rise, but the articles never agree on how much. So, the assets are designed for a certain sea level rise but there are possibilities that sea level rise will be more than the engineers have calculated. This confirms the need of asset owners to be able to adapt to uncertainties like sea level rise. According to a recent report of Deltares (2018) an accelerated sea level rise might be noticed after 2050. A lot of calculations and prospects are unsure after 2050. It might be possible that 20 times more sand is needed to protect the coast line. The storm surge barriers have to close more often and need sooner renovations. Also, the fresh water supply systems need to be revised. The big question is how fast sea level will rise and how much time we have left to prepare for that situation (Deltares, 2018). So, the prospects are uncertain after 2050. But, when the most extreme scenario occurs that is sketched by Deltares, infrastructural assets have not the sufficient strength to withstand these new conditions.

Not only a changing climate but also changing Dutch policy decisions contribute to the need to make infrastructure more adaptable. This happens because the norm what we accept as safe has changed and new laws are adopted regarding water safety. Not only is the sea level rising and influencing the infrastructure, we also develop new norms and values. Previous years, the water safety standard in the Netherlands was lower than it is nowadays. In the Netherlands there is a law, the Waterwet, that determines what specifications need to be met in order to serve water safety and this law can be adjusted by policy makers. Engineers could have built much stronger dikes if needed back in the days, but that was not necessary at that time. Safety norms were none existing or not as strict as they are nowadays. The new, much stricter and safer norms cause the need for safer and better dikes and dams, together with the rising sea-levels and stronger waves. This also stresses the need to have adaptable infrastructure.

1.3 Problem description

In this research is focused on infrastructural assets in the Netherlands and the Dutch climate situation. Besides newly built infrastructural assets there are also a lot of existing infrastructural assets in the Netherlands. These assets are often designed before recent insights in climate change or changing norms about safety were taken into consideration. These assets are still used and experiencing the effects of climate change, such as more extreme weather conditions and rising water levels. It is not yet fully known in which way climate change will affect our infrastructural assets. From a sustainability perspective, it is preferred to modernize or renovate the old infrastructural assets. Nowadays people start to be more focused on the reuse and upgrade of assets, since in many cases it is more sustainable and economically valuable than building new assets. In this way, energy and material can be saved. This is called a circular economy. A circular economy is an economic system where products and services are traded in closed loops or 'cycles'. A circular economy is characterized as an economy which is regenerative by design, with the aim to retain as much value as possible of products, parts and materials. This means that the aim should be to create a system that allows for the long life or adaptable approach, optimal reuse,

refurbishment, remanufacturing and recycling of products and materials (Kraaijenhagen, Van Oppen, & Bocken, 2016). In order to improve the circularity of infrastructural assets as stated above, you need to use them longer or make them easily adaptable. This is part of the solution for the climate problem. This means that adjusting infrastructural assets or making them easily adaptable to climate change and changing norms, will provide the asset manager with stronger assets that require less maintenance and thus improve asset management. At the same time, when infrastructural assets are adaptable and therefore more circular, the sustainability of the infrastructural asset improves since less energy and material is used. This decreases CO₂ emissions. This adaptable approach can be economically attractive as well. It is interesting to find out how the owner can prepare himself for the impacts of climate change on the management of their assets and still take into account the best balance between the performance, costs and risks without deciding to build a new infrastructure.

Scientific consensus is in favor of accepting the enhanced climate change effect due to humans (Chappin & Van der Lei, 2012). This results in sea level rise, extreme weather impacts and higher CO₂ levels in the atmosphere. The problem statement is that asset owners cannot assume a certain final situation of the infrastructure and the impacts on it. This final situation becomes more uncertain and is changing towards an unknown and more dynamic final situation as a result of climate change. Even if the world succeeds in minimizing greenhouse gasses, the effects of changes will continue to affect communities, ecologies and economies all over the world. Therefore, adaption of societies is necessary (Roggema, 2009).

1.4 Research objective and research questions

In order to improve **infrastructural asset management**, we need to find out how climate change affects infrastructural assets in the first place. For this we focus only on the effects of climate change that are caused by human activity, so the effects of the enhanced greenhouse effect. Second part of the research explores how infrastructure in the Netherlands can be made adaptable to anticipate on the changing climate and its potential impacts in the future. So, the focus is on the infrastructures themselves. By having insight in the effects of climate change on the assets, the asset owners can prepare themselves to the scenarios and anticipate on future asset management and design that does include climate change effects.

This leads to the following Research Question:

*How can existing **infrastructural asset designs** in the Netherlands be **adapted** to anticipated current and future expected **climate change effects**?*

Sub-questions:

1. What are the expected impacts of climate change on built infrastructural assets in the Netherlands?
2. What are the problems that need to be adapted to the impacts of climate change in future assets?
3. What steps can be taken to adapt infrastructural assets to those problems?

1.5 Definitions

This section gives a description of the bold words in de Research Question:

1.5.1 Climate Change Effects

The Earth's climate is changing at unprecedented rates. As a result of higher greenhouse gas concentrations, global average surface temperature has increased by about 0.7 degrees Celsius over the 20th century with the 1990s probably the warmest decade in instrumental record. Climate changes of these proportions may affect human structures and activity (Jollands, Ruth, Bernier, Golubiewski. 2006). The initial temperature rise causes lots of other problems among which the troubling sea level rise due to melting ice sheets and thermal expansion of the sea. The temperature rise also causes a change in weather patterns which results in more extreme weather conditions.

1.5.2. Infrastructural Assets

Fulmer (2009) defines infrastructure as: 'the physical components of interrelated systems providing commodities and services essential to enable, sustain, or enhance societal living conditions' (p. 30). So, infrastructural assets are physical and provide a service to society. Specific examples include roads, bridges, tunnels, drainage systems, water and sewer systems, dams and lighting systems. This thesis focusses on all infrastructural assets in the Netherlands. The Netherlands is a water country and therefore has an extensive network of water ways and lakes. This is unique in the world and determines our landscape. The Netherlands has 1750 bridges, with 950 movable bridges, 250 ship locks (Recreatie Toervaart Nederland, 2000) and 6,5 thousand kilometers of waterways (Centraal Bureau van de Statistiek, 2018). Also, the motorway network is extensive, it exists of 139 thousand kilometers of asphalt layer motorways. Those are all infrastructural assets and included in this research.

1.5.3. Asset management

Making infrastructural assets more adaptable is part of how the owner deals with the assets. This is part of the bigger framework of asset management. In this report, the focus is on the design of the asset. It needs to be determined to what extent the asset is climate change-proof. When there are major repairs (after 20-30 years), to what extent is the design adaptable in order to be resistant to climate change effects? If, at that moment, the asset is not resistible to changing climate conditions, how is it possible to make it resistible to changing climate conditions. Do the assets still meet the requirements in the changed circumstances?

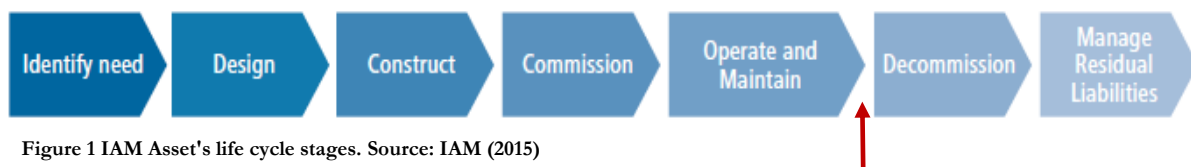


Figure 1 IAM Asset's life cycle stages. Source: IAM (2015)

First we take a look at the model that IAM (Institute of Asset Management, 2015) made to describe the asset's life in life cycle stages. Those life cycle stages 'include all aspects of managing assets from the initial concept through the disposal.' (Institute of Asset Management, 2015, p.12). This model is shown in Figure 1. As above described, the focus is to give the asset manager guidance in what steps to take when there is a major renovation planned. This can be an adjustment or the decision to build a new asset. Therefore, the focus is on the average time between 'operate and maintain' and 'decommission'.

The IAM conceptual model (Institute of Asset Management, 2015) recognizes six subject groups. Those subject groups cover a total of 39 asset management subjects. These subjects describe asset management in greater detail. Those are shown in Figure 2 and Figure 3. The subject of this thesis can be included in number 34: Management of Change. This subject is described by IAM as: 'An organization's processes for the identification, assessment, implementation and communication of changes to people, processes and assets.'

This can be directly translated to this particular case: Rijkswaterstaat's processes for the identification, assessment, implementation of changes in the environment to its infrastructural assets.

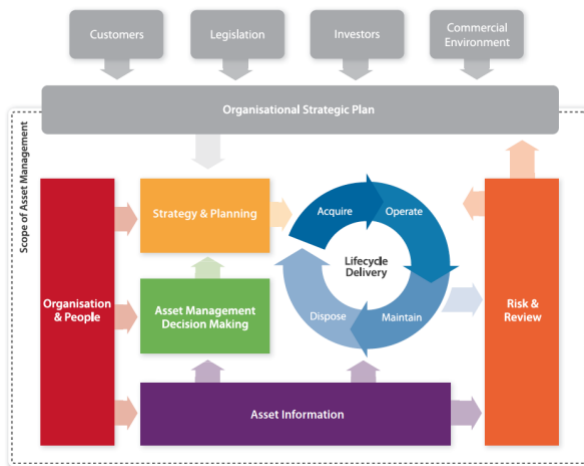


Figure 2 IAM Conceptual model. Source: IAM (2015)



Figure 3 IAM Subject groups in detail. Source: IAM (2015)

1.5.4. Adaptability

The concept of adapting and adaptability can be vague and it can be difficult to formulate a definition that is applicable to a specific research. The article of (Lints, 2012) will give guidance in defining adaptability. (Lints, 2012): 'In different research fields adapting can have a very different meaning. In the study field of biology, the adaptable capacity of an organism can be defined as maintaining survivorship between generations. While studying human behavior this can be a very different definition. Here it can represent how people cope mentally with various changes in their life. Business research tries to find ways to make companies survive and flourish in turbulent markets.' (p. 37). So, the research field determines for a big part the definition. In general, the article states that adaption is a process about changing something (itself, others, the environment) so that it would be more suitable or fit for some purpose than it would have otherwise been. However, this not specific enough in this research. According to the article there is a need to specify the frames of references.

First of all, it is important to point out a goal of the system. The article describes an adaptive system as 'the subject of research, management and design efforts in various fields that deal with systems consisting of large numbers of interacting components' (p. 37). In biology, this system should be survival of the organism. For this thesis, the goal would be: Adjusting existing infrastructure to the changing environment without building a new infrastructure.

Secondly the environment should be described in which the system can be said to be adaptive. Not a single system can do well in all possible conditions. The environment in this case is the changing water levels, weather conditions and CO₂ content that the infrastructure as a whole in the Netherlands has to deal with. The infrastructure itself should be adaptable to those particular effects. We are not able to influence climate change effects on short term.

Thirdly time frames are significant. It is important to determine the time interval in which the system performs well regarding to its aims. This thesis focusses on adaptability of infrastructure in the year 2085. On the basis of climate change impacts that will take place in that time. By exploring this the lifetime can be extended of the assets after the economic life time has expanded.

Finally, not all of the processes in the system are interesting for the goal, so instead of only speaking about the adaptability of the system in general, a more detailed description may sometimes be appropriate. For this problem, one can look at two different forms of adaptation. First is the adaptive management and policy side and second are the possibility for technical adjustments in the design that make the infrastructure more adaptable. Adaptive management is based on decisions in use of the assets and design adjustment is based on technical options to replace, add or remove certain parts. Those two are interconnected and cannot be separated.

Some scientific works are more focused on the adaptive side and others more on the design side. The following two articles are focused on adaptive management. First the article of (Huitema, et al., 2009) they describe adaptive management as: 'The adaptive management emphasizes learning and uses structured experimentation in combination with flexibility as ways to achieve this'. (p. 26). Another article says about

adaptive management that it 'has been promulgated as an integrated, multidisciplinary approach for confronting uncertainty in natural resources issues. It is adaptive because it acknowledges that managed resources will always change as a result of human intervention, that surprises are inevitable, and that new uncertainties will emerge.' (Gunderson, 1991, p. 4). However, this report focusses both on the technical aspects and the design side of adaptability. Therefore, a definition that covers both sides is preferred.

In the book of Roggema (2009) is the Dutch national 'Adaption of the Spatial lay out and climate' (ARK) program described. This is a collaboration between the government, provinces, municipalities and water boards. The goal of the collaboration is to be the starting point of transitions towards a climate proof Netherlands. The final aim is that in the future all projects will become climate proof. (Ministeries van VROM, V&W, LNV, EZ en IPO, VNG en UvW, 2007). The Dutch Adaptation Strategy and Agenda focuses on both policy and design. The strategy states that a climate proof spatial lay out requires a high resistance, resilience and adaptability. If areas are developed, realized and maintained these three elements need to be kept in mind consequently and explicitly. They define resistance, resilience and adaptability in the following manner:

'Resistance' is the ability to resist extreme circumstances.

Resilience is the quality to recover from an event fast when circumstances return normal again.

Adaptability is the capability to deal with the uncertainties, both in size as pace, of climate change.' (Roggema, 2009, p. 7-8).

Having those definitions in mind, the following definition can be formulated that is applicable for this research: 'The capability of the management and the design of infrastructural assets in the Netherlands to deal with uncertainties, both in size as pace, of climate change in the year of 2085.'

1.6 Report outline

❖ Research Introduction

The research introduction is described in chapter 1 and provides the research objective and questions. Chapter 1 also elaborates upon the used definitions.

❖ Research methodology

In Chapter 2 the first input of the developed method is elaborated. In Chapter 3 and 4 the complete method is introduced and extensively described. The method is validated by means of a case study and the case study is introduced in Chapter 5. The case study exists of five sub-cases and those are introduced in Chapter 6.

❖ Results

The developed method exists of six of which the first two are explored and applied to a case study. The exploration of the uncertainties on infrastructure is the first step and is executed in Chapter 7 and 8. In Chapter 9 the second step of the method is applied that decreases the number of problems.

❖ Discussion and Conclusion

In Chapter 10 a discussion is given on the method and is reflected on the importance and usability. In Chapter 11 the research question is answered and is described how Rijkswaterstaat handles or can handle the impacts of climate change on their assets. Also, recommendations for further research are provided.

2. Climate Change

This chapter explores the climate change impacts that are noticeable in the Netherlands. First is the cause of the change in the climate patterns described: global warming. In section 2.2 the Dutch meteorological institute KNMI is introduced and elaborated upon. It is described how the institute carries out measurements and how it draws conclusions from this information. Since climate change is unsure, several scenarios are introduced and one is chosen to work with in this research. In section 2.3 is explained why this scenario is chosen. After this the general impacts of climate change are distinguished for infrastructure. Those form the basis for the input of the model that is described in the next chapter.

2.1 Global Warming

The climate is changing constantly. There are lots of different climate changes and they can be caused by natural causes. For example, El Nino, a short-term climate change that occurs every 3 to 7 years. Or ice ages that can last for 100.000 years. The past century, also human development played a big role in climate change. This was because of the emission of greenhouse gasses like carbon dioxide and methane. (KNMI, 2018). The rays of the sun go through the atmosphere to the Earth's surface. A part of those sun rays is reflected and another part is absorbed and warms up the earth. Part of the absorbed warmth goes back to the atmosphere as infrared radiation. Under normal circumstances there is a balance between the net influx of sun rays and the IR radiation during 24 hours. As a consequence of the increased greenhouse gas (CO₂/Methane) concentration in the atmosphere a larger part of the reflected heat back into space is stopped and the temperature goes up.

Due to human development, lots of greenhouse gasses are added to the atmosphere. This is called the enhanced greenhouse effect and is caused by humans. Figure 4 is a schematic overview of this process. More heat is not reflected back into space and the average temperature of Earth increases. How much this increase will be is dependent on the future amount of the emission of greenhouse gasses. Since the 1950s the effects of the industrial revolution and the big emission of CO₂ by human activity started to get noticed. At that time people slowly became more aware of climate change. This was set in motion in World War II since storm spotting became important in order to protect the military installations (Doswell, Moller, & Brooks, 1998). From that moment on the effects of CO₂ emission were measured and tracked. From the 1950s until now we have precise calculations on what has actually changed in our planet.



Figure 4 Schematic overview of the enhanced greenhouse effect. Source: (Klaassen, 2016)

2.2 KNMI

Over the past one and a half century, the Royal Dutch Meteorological Institute (KNMI) has tracked what has changed in the Netherlands and does daily observations. These are observations of temperature, humidity, precipitation, wind and sight. The KNMI is a scientific institute of the Dutch government that is specialized in meteorology, climate science and seismology. It provides weather forecasts and warnings in dangerous weather circumstances. The KNMI is an agency of the Ministry of Infrastructure and Water Management. The KNMI works intensively with other institutes and research institutions. The KNMI takes part in the European Centre for Long Term Weather Expectations (ECMWF) in England and represents the Netherlands in lots of other international organizations like the World Meteorological

Organization (WMO) and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC¹) and the European meteorological satellite network Eumetsat. KNMI is also part of the Network of European Meteorological Services (EUMETNET). Twenty-Four European countries united with the goal to reach policy objects as effective and efficient as possible (KNMI, 2017).

Observations are the input for climate models and are used to predict future climate changes. The department Research and Development of Weather and Climate models (RDWK) of the KNMI investigates and develops research tools for weather and air quality prediction applications and climate models. The KNMI works on physical processes, data assimilation, long term climate projections and practical applications including the prediction of storm surges and extremes. The KNMI participates in a lot of international projects that are related to weather and climate research. The KNMI acts as the Netherlands Focal Point to the IPCC. About 45 people are part of RDWK including PhDs and technical support staff. They have a strong international network. Most of their activities are executed in collaboration with other partners, like HRILAM/Harmonie, EC-Earth, ECMWF and universities (Dijkstra, 2018).

The KNMI published the brochure with climate scenarios for the Netherlands in 2006 and in 2014. In these brochures, the findings of the climate models are explained. The most recent version of the brochures is used in this report; Klimaatscenario's '14 (KNMI, 2015). This is a revised edition. In 2021 the KNMI expects to deliver new climate scenarios for the Netherlands, adjusted to the new insights. The reason for this is the planned publication of the sixth assessment report (AR6) of the IPCC. The Klimaatscenario's '21 will replace the Klimaatscenario's '14. The Klimaatscenario's '14 are based on the fifth assessment report (KNMI, 2018). The main conclusions from the IPCC assessment report have proven to be robust, including the findings that are relevant for the Netherlands (van den Hurk, Siegmund, & Klein Tank, 2014).

2.3 Scenarios

It is difficult to predict how weather events will change and how much CO₂ will increase. The only certainty we have is that we can see how much it has changed the past and we know it will change in the future. For this are the scenario's '14 used of the KNMI. Van den Hurk, Siegmund & Klein Tank (2014) write about the scenario's the following: 'The KNMI'14 climate scenarios are designed to provide a scientific set of plausible, consistent and relevant future climate conditions, to be used as a reference framework for multitude of society impact assessments of different scope and origin' (p. 8).

The KNMI developed four scenarios; G_H, G_L, W_H and W_L. Each scenario gives a coherent picture of the changes in twelve climate variables. These are temperature, precipitation, sea level, wind and many more. The KNMI calculated scenarios for 2050 and 2085. Together the four scenarios describe the vertices climate change will most likely develop in the Netherlands. Those vertices are illustrated in Figure 5. This gives a quantitative visualization of a range of climate conditions to which our country and its surroundings are exposed in the coming century (van den Hurk, Siegmund, & Klein Tank, 2014). The difference between G and W is based on the expected temperature rise, while the difference between L and H is based on the change in expected airflow pattern. The changes of the climate are relative to the reference period of 1981-2010. The climate scenarios offer a guideline that can be used for calculations and strategies for adaptation. The

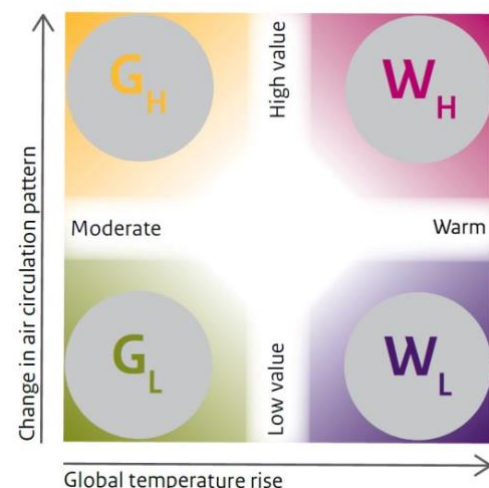


Figure 5 Climate scenarios of the KNMI. Source: KNMI

¹ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is founded by the United Nations. Their goal is to map knowledge about the climate, climate change and the consequences and summarize their findings in reports. Every 5 to 6 years they publish a climate report (assessment) with the state of affairs.

Klimaatscenario's '14 enable readers to involve climate change in their decision-making process for a safe and sustainable Netherlands (KNMI, 2015).

In this thesis, the following scenario is used: **W_H scenario for 2085**

The scenario W_H is a logical choice when it comes to climate change scenarios. Roggema (2009) states in his book that climate change seems to accelerate. It happens sooner, faster and stronger. Uncertainties in the future are large. This is in line with what can be found in literature. The literature agrees with the fact that climate change is happening, but never agree on how much. In order to cover as much as possible within reasonable bounds, the most extreme scenario is chosen. On top of that is Rijkswaterstaat an agency of the ministry of Infrastructure and Water Management and owns a lot of infrastructural assets like bridges, motorways, tunnels, sluices, locks, dikes and many more. In their calculations for water safety concerning dikes and dams they also use the W_H scenario of the KNMI. Since the report is written for Rijkswaterstaat it makes sense to use the same scenario.

The same applies for the choice of the year 2085. Lots of forecasts are sure of what happens before 2050 but after 2050 the calculations of the climate models become more uncertain (Deltares, 2018) while the infrastructure is expected to deliver still the same quality. The effects before 2050 are better predictable and can therefore better anticipated on, while adaptability is about anticipating on unexpected climate change is needed after 2050. Rijkswaterstaat chooses for their calculations also 2050 as a target year. Therefore, it is interesting to take it one step further and look at a more uncertain period. The KNMI can also forecast the climate further in the future, 2100. However, the year 2085 is preferred above the year of 2100. This is because for the year 2085 the specific measurements are further elaborated and easier to use in this research. This means that more data is available and ready to use for the year 2085.

2.4 Impacts on Infrastructure

As aforementioned, state several institutes and articles different findings about the course climate change. The climate is difficult to predict and always uncertain. In this thesis, the KNMI Klimaatscenario's '14 reader is used to determine important focus points. Those focus points are used as the starting points for answering the research question.

So, the Klimaatscenario's '14 reader is published by the KNMI and presents the forecasted climate changes for the Netherlands on the basis of the most recent assessment report of the IPCC. The reader starts with a description of general future climate impacts noticeable in the Netherlands. Those impacts are expected to happen to a greater or lesser degree and are noticeable in every scenario, so G_L, G_H, W_L, W_H.

The impacts are:

- ❖ Temperature rise
- ❖ Warm winters and hot summers are more common
- ❖ More and extreme precipitation in winter will increase
- ❖ Intensity of extreme rainfall in the summer
- ❖ Hail and thunder are becoming more intense
- ❖ Sea level rise and the pace of the rise increases
- ❖ Small changes in wind speed but wind and storm climate will show bigger natural variations
- ❖ Number of days with fog will decrease

The general impacts differ in intensity per scenario. This means that for example in the G_L and G_H the temperature rises less quickly than in W_L and W_H. The Klimaatscenario's '14 reader gives detailed information on the general impacts that are occurring per scenario. The detailed information that is used in this research is the W_H scenario. This is the most extreme scenario.

So, those impacts are not yet translatable to infrastructure. Those are general conclusions that show the direction of the by humans caused climate change. The KNMI describes six chapters in their reader that elaborate more on those general impacts:

1. Temperature
2. Precipitation
3. Sea level
4. Wind and Storm
5. Sight, fog, hail, thunder
6. Clouds, solar radiation, evaporation, drought

In those six chapters are the impacts the described in greater detail. This entails what the current status is and how they probably will behave in the future according to the climate models of the KNMI. In the following sections those impacts are further elaborated upon on the basis of the reader. A brief explanation will be given of each chapter separately about the measurements, how it is measured and how this will change in the future. Different aspects of the impacts will be discussed and form the basis of the next step in quantification of the impacts that are going to be used. So, these brief statements are based on the content of the chapters of the most recent reader of the KNMI, the Klimaatscenario's '14.

2.4.1 Temperature rise

Between 1901 and 2013 the average temperature in the Netherlands went up 1.8 degrees Celsius. The biggest increase was between 1951 and 2013. The increase is visible in Figure 6. The increase in the Netherlands is two times as big as the world-wide temperature rise. This rise is mainly caused by the increase of west winds in a late winter and in early spring and by more sunshine in late spring and summer. The increase of sunshine is caused by a decrease of aerosols in the Dutch atmosphere and presumably also by less clouds, especially during eastern and southern winds (KNMI, 2015).

All four scenarios say the temperature will rise in the future. Temperature differences between winters will decrease because the chances of a strong winter decrease strongly. Temperature differences between summers increase, because the chances of a hot summer increase strongly. This means the coldest winter days and the hottest summer days experience the highest rise in temperature. For soft winter days and cool summer days the increase is smaller. For winter this means a decrease of the frost and ice days. The summer will experience more tropical nights of at least 20 degrees and more summer days with a temperature of at least 25 degrees (KNMI, 2015). In Figure 6 is shown what the average temperature over the years is in the Bilt. Horizontal lines represent averages over 30 years. Clearly is that the average temperature is rising.

Not only is the average temperature rising, also more extremes will occur in temperature. Warm periods will occur more often. In the Netherlands, we use the term 'heatwave' when the KNMI measures a maximum temperature of 25 degrees Celsius or higher for five days consecutively. During those five days, there have to be at least three days that are 30 degrees Celsius or higher. In the Netherlands, we experience nowadays on average 21 days with a maximum temperature of 25 degrees Celsius on average per year. It used to be 13 days from the period 1951-1980. Also, heat waves are 2-3 degrees Celsius hotter than in 1950 (KNMI, 2015).

In the future, the temperature of the warmest days of the year strongly increases, so heat waves occur more often. The observed increase even goes faster than the climate models predict. It is unknown what is causing this. The number of days with a temperature over 25 degrees Celsius increases drastically. In the most extreme scenario in 2050 it increases with 70%. This means instead of 21 days of >25 degrees will increase to an average of 35,7 days of >25 degrees of Celsius.

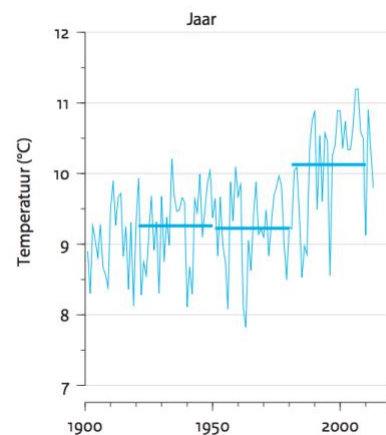


Figure 6 Average temperature in the Bilt over the years. Source: KNMI (2015)

The study of Della-Marta, Luterbacher, von Weissenfluh, Xoplaki, Brunet & Wanner (2007) also shows that in the period between 1880 and now, the amount of summer heat waves has significantly increased and is likely to continue to increase due to anthropogenic influences on climate. They observed increases in average frequency of heat waves per decade since 1880 over Western Europe (Della-Marta, et al., 2007). Another study by Meehl & Tebaldi (2004) investigated the heat waves coming in the 21st century. Figure 7 illustrates their results. Thus, areas already experiencing strong heat waves (southwest, midwest and southeast US and Mediterranean region) could experience even more intense heat waves in the future. But other areas (e.g., Northwest United states, France, Germany, and the Balkans) could see increase of heat wave intensity that could have more serious impacts because these areas are currently not as well adapted to heat waves. This situation of Germany and France is comparable to the Netherlands. The Netherlands is not prepared for heat waves while there is an increase of heat wave intensity.

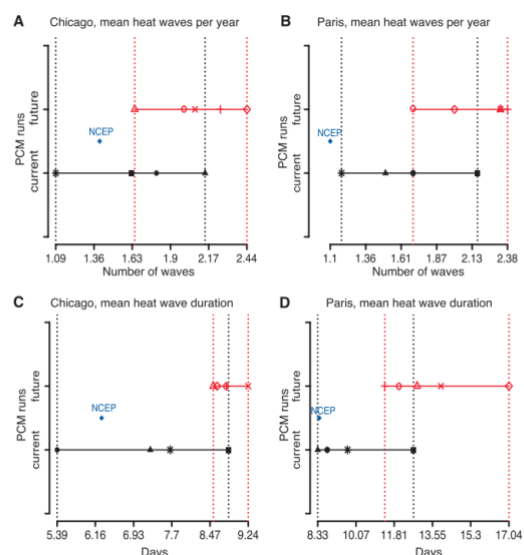


Figure 7 Results of Meehl and Tebaldi (2004) study

Cold extremes will occur less often in the future. In the period of 1950-1980 this was an average of 11 days. Ice days are days that experience a maximum temperature that is below zero. From the period 1981-2010 the ice days are only 7,2 days per year. The chances already got smaller (KNMI, 2015). In the following years, the chance of ice days will only get smaller. In the most extreme scenario we will experience 0,72 ice days per year on average. This does not mean that lakes will never be frozen again, but the chances just get a lot smaller. The coldest days a year warm up faster than other days, because in winter we will experience western winds more often. On top of that, on the colder days we have north eastern wind, the North pole air is not as cold as it used to be. The North pole area warms up quicker than the world average. The amount of snow also decreases by global warming.

When look we at the impact on infrastructure the heat and cold extremes are the most important. An increase of one of two degrees on average temperature does not influence the infrastructural assets. However, the extremes do. High temperatures have their impact on materials and environment, especially in long periods in a row. Same goes for cold extremes. Both are therefore included in the research.

Climate impacts on infrastructure, and thus included in the research:

- Heat waves
- Cold periods

2.4.2 Precipitation

Between 1910 and 2013 the yearly average precipitation increased with 26%. Between 1951 and 2013 this was 14%. All seasons, except the summer, have to deal with more rain. In Figure 8 the upward trend is shown over the past years. The increase is mainly caused by the warmer air due to climate change. The warmer air can take in more water vapor. Also, the wind blows more often from the humid western areas. In the Netherlands, we experience about 850 mm of precipitation. Especially in coastal areas the difference is noticeable. On average per year the amount of rainy days in winter is not changed, but when it rains, it rains harder, while in summer the number of rainy days even decreases, but the showers are more extreme (KNMI, n.d.). The temperature of the North Sea also seems to rise quicker

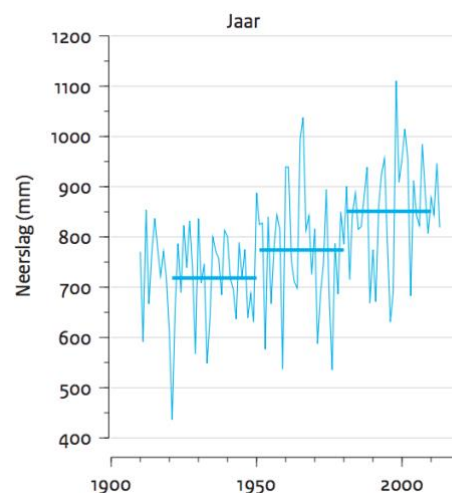


Figure 8 Yearly precipitation in the Netherlands. Source: KNMI (2015)

than the global temperature. The higher North Sea temperatures are likely the reason why the shore in summer and fall is becoming wetter. A cause of climate change seems plausible, but is not yet proven (KNMI, 2015). Lenderink, Van Meijgaard, & Selten, (2009) analyzed that during the summer months 7-10 mm per month extra rainfall has fallen on average during the period from 1951 until 2016 in coastal areas compared to inland areas. Compared to the total of 70-75 mm per month. In Figure 8 an overview is shown of precipitation in the Netherlands over the past years. The horizontal lines represent an average over 30 years. In the future, the precipitation increases in all scenarios except in the summer. This is caused by the fact that in a warmer climate the amount of water vapor in the air increases (KNMI, 2015). In Figure 9 the precipitation in the Netherlands is shown according the climate scenarios of 2050 and 2085 in winter and summer.

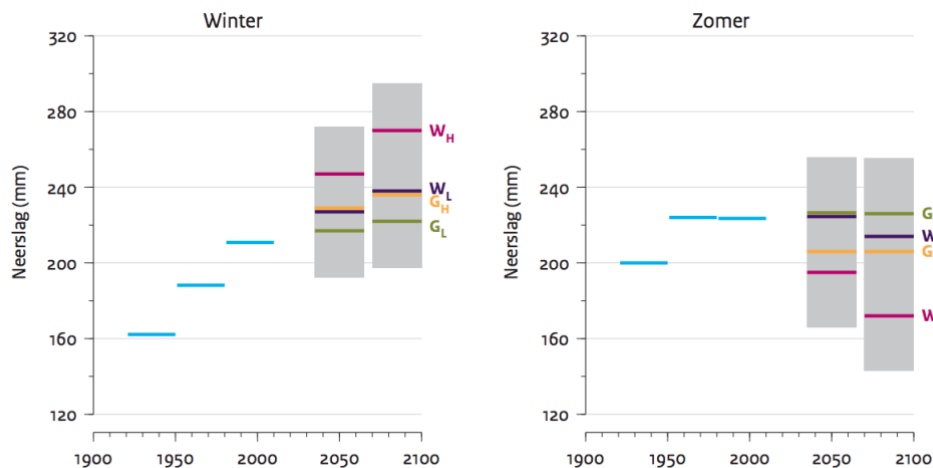


Figure 9 Precipitation in the future in the Netherlands. Source: KNMI (2015)

This increase of precipitation causes also more water drainage by the rivers. Precipitation from Germany and Denmark end up in the IJssel, the Rhine and the Meuse and many more. The Netherlands has to deal with this increase of water. This causes a high-water level in the rivers, canals and lakes. This water has to be processed by the outlet sluices and pumping stations and if this is not dealt with efficiently, it can cause floods. So, an average increase of precipitation has a big influence on infrastructure.

Besides more rain, we will also experience more extreme rain fall. In order to say something about extreme rainfall events scientists of the KNMI tried to calculate this in four different ways. To quantify these events, they determine that a criterion for heavy rainfall is: the amount of days with 50 mm rainfall per day or more. According to a trend analysis it is determined that intense rainfall showers happen twice as frequently now, compared to 1950. An extreme value calculation says that the probability of extreme rainfall is at least 1,5 times bigger. In a distribution of the highest day sums of all stations the value is a factor 2.0 – 2.6 bigger. Last gives the Clausius-Clapeyron (amount of water the atmosphere can contain) a relation of a factor 1,3 and 2,4 more probability of extreme rainfall. All these four different calculations say that extreme showers happen twice as frequently since 1950 (KNMI, n.d.). It can be seen in Figure 10 how the extreme events developed over the years. On top of that, the KNMI determined that the rain showers amount of precipitation increases per hour per degree of Celsius warming. Nowadays a summer has six days with extreme precipitation (KNMI, 2015). Also, in Figure 10 an upward trend is visible in heavy precipitation (KNMI, n.d.).

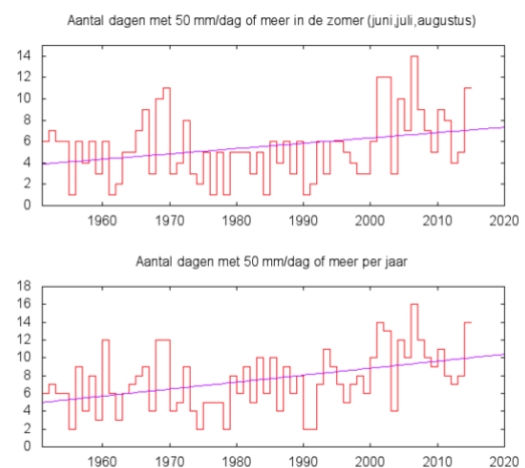


Figure 10 Number of days with >50 mm rain in one of the 325 stations. Source: KNMI (2015)

Extreme precipitation increases in all scenario's. The climate models of the KNMI are publicly available and with the help of Excel can be calculated how many days per year in 2085 more than 50 mm precipitation will fall in the scenario of W_H . This is plotted in Figure 11. Around the year of 2085, 17 days per year on average the precipitation amount will be 50 mm or more. These heavy peaks have an influence on infrastructures. The peaks of water have to be discharged quickly and efficiently and can cause an increase in groundwater level or other problems on motorways or outlet sluices. (Transportation Research Board of the National Academies, 2013). Therefore, extreme precipitation peaks are included in the research.

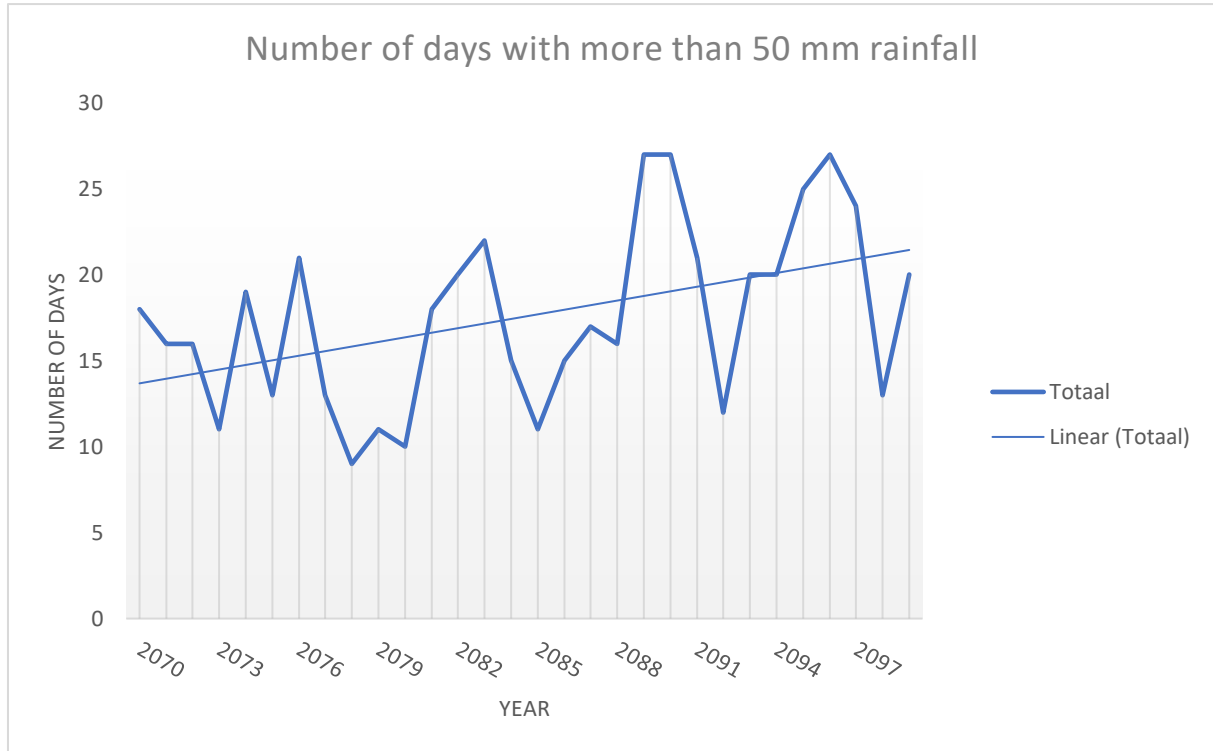


Figure 11 Number of days with >50mm precipitation in W_H 2085. Source: own figure

Climate impacts on infrastructure, and thus included in the research:

- Increase of average precipitation: causes high river discharge and thus high-water level in canals and lakes
- Extreme precipitation, rain showers

2.4.3. Sea level rise

One of the biggest challenges that the world has to face is sea level rise. Especially a country like the Netherlands that has a long coast line and lays partly below sea level sea level is an important factor. The IPCC declares sea level rise on the basis of the contribution of the expansion of sea water, the melting of glaciers, erosion of ice caps and change in groundwater, irrigations and dams. The sea level has risen 19 centimeters worldwide from 1901-2010. Regional changes in sea level can deviate a lot from the world average. Along the Dutch coast, the sea level is the same as the world average. The Dutch sea level rises with an average speed of 1.8 mm per year (KNMI, n.d.).

In the future, the sea level will continue to rise. According to all emission scenarios the sea level will

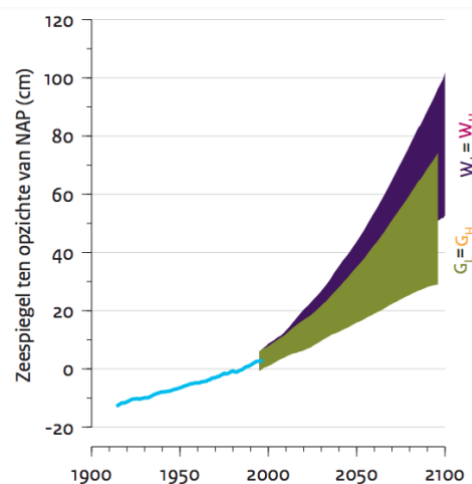


Figure 12 Sea level at the Dutch shore. Source: KNMI (2015)

probably be higher than 2.0 mm per year due to further warming of the ocean and melting of glaciers and ice sheets. The scenarios calculate that the sea level could rise to 80 centimeters in 2085 relative to 1900 (KNMI, 2015). In Figure 12 is the sea level rise from 1900 until now plus the expected rise is shown. Literature does not agree on how much the sea level will rise. It is hard to predict and lot of different factors have an influence. Those factors are expansion of the ocean by warming up of the water and changes in salt content, melting of glaciers and ice caps. Also, the gravity field changes because of melting water of ice peaks that might not evenly spread over the oceans. Subsidence also has an influence on sea level rise. Because of these insecurities, the KNMI gives a bandwidth (KNMI, 2015). A rise of 80 centimeters of average water level can give problems to infrastructure, when infrastructure is too low, the main problem that occurs is flooding.

Not only flooding can give problems, also the combination of storms + a higher sea level will occur. When an average storm takes place in combination with a higher sea level, a more extreme situation occurs which would otherwise not be that extreme. In the past, this might not give problems, but nowadays it will. At sea, different types of waves occur. They vary from small waves of less than a second to tidal waves that last for 12,5 hours. In calm circumstances the waves have a maximum of 1 meter. The wave height is the distance between the top and the bottom of the wave. The height is strongly dependent on the strength of the wind. Also, the duration of a storm and the depth of water are important. (KNMI, n.d.). Thus, in combination with sea level rise, 'normal' waves will become stronger and higher. The peak moments during storms will be more extreme. Therefore, this is also a climate impact that needs to be included. The danger of increased average sea level under storm conditions. The maximum storm conditions will take place more often, simply because the average sea level will become higher.

Climate impacts on infrastructure, and thus included in the research:

- Average sea level rise
- Average sea level rise + storm conditions results in more and extremer circumstances

2.4.4. Wind and Storm

IPCC evaluated that the strength of western winds between 1950 and 1990 has increased. However, this increase is recently stopped and decreased again to the original strength. The storm tracks probably moved to the north which explains the decrease. Long-term wind evaluations are not reliable. They are sensitive to change and measurement instruments are not available above sea. On the basis of air pressure measurements, more accurate measurements can be made. The KNMI says, on the basis of these measurements, that at the end of the 20th century more storms above the North Sea area were present. In recent years the number of storms decreased. This seems to be caused by the built of more buildings in the Netherlands that break the wind. Along the coast the wind speed has not decreased since the sixties (KNMI, 2015). When the wind speed is 50 kilometers per hour we say it is a wind gust. When the speed is above 100 kilometers per hour, we say it is an extreme wind gust. In Figure 13 is shown how many storm days occurred a year the past years. The horizontal line represents a 30 years average.

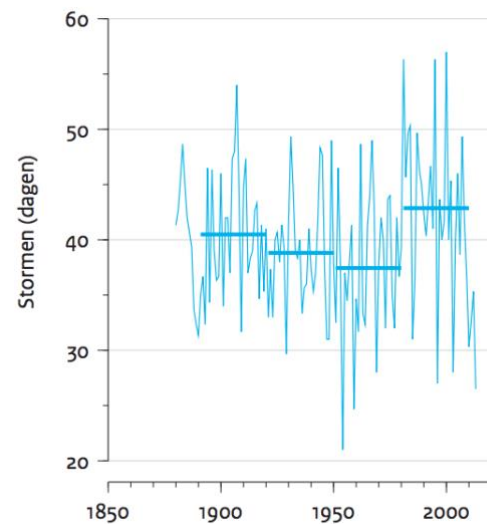


Figure 13 Indicator storm conditions above the North-sea. Source: KNMI (2015)

After interviewing Peter Siegmund of the KNMI it can be determined that wind is not predictable. In the interview, it became clear that changes in wind pattern are not evident caused by climate change. They are caused by natural variations of the climate that would have occurred also when there was no enhanced greenhouse effect. This study focusses only on the effects of the enhanced climate change. *Siegmund: There are too many natural causes for changes in the wind pattern. This pattern is dependent on the temperature distribution above the ocean and changes in a long-time range, 30 years. And only for that reason you have variation in wind patterns. This is all part of the natural variations of the climate. You can certainly not predict this and those variations are bigger than*

possible changes by climate change'. Changes in wind patterns are also a reason for having adaptive infrastructure but since they are not caused by climate change they are not included in this thesis. But it stresses the need for adaptive infrastructure once more.

Aside from the strength of the wind, the wind direction is important. The highest water levels occur when a northern wind pushes the North Sea water. The future scenarios show that strong North winds frequency do not change. The number of storm surges also stays the same (KNMI, 2015).

From measurements of the KNMI it seems that the number of storms (wind power 6 in land, and 7 on the coast) have decreased. We experience about ten storms a year in the Netherlands, but we have about 20-40% less storms than the early sixties. The Netherlands is too small and the measurements series are too short to say something about the big storms (wind power 10-11). They are not frequenting enough to determine. They occur once a year on average. Climate models calculate that the total number of storms Northern Hemisphere are slightly decreasing. On the other hand, there are indications that the most powerful storms are increasing. But those indications are uncertain (KNMI, 2006). Again, storms are not included in this thesis since they are not caused by enhanced climate change.

Climate impacts on infrastructure, and thus included in the research:

- None

2.4.5. Sight, Fog, Hail, Thunder

Thunder

The KNMI kept track of the amount of days with thunderstorms. But data about the amount of days are not representable to say something about the amount of lightning. One thunderstorm can have more lightning than another. Nowadays, special tools can register the amount of discharges. Such systems do not exist for a long time yet and are developed only recently. The first data tells us that the electrical activity can vary a lot. A single storm can give in 10-15% of the yearly sum of discharges in a short period of time (KNMI, n.d.). In the increase of thunderstorms follows that also lightning, hail and wind gusts increase and get

more extreme. Nowadays, Brabant experiences 32-34 days with thunderstorms. Which is the most in the Netherlands. The number of days with thunderstorms

are shown in Figure 14. It is hard to determine how much more often lightning will strike. As stated above one strike can cover the total amount of discharge of electricity of the year. We do know that per degree of warming, the amount of lightning strokes increases with 10-15%. Also for wind flags we do not have enough direct measurements to determine this on direct observations.

According to Peter Siegmund both storm and lightning strokes predictions are not reliable. They occur not often enough to make statistic calculations with them. The global story of the KNMI is that western winds can occur more often in winter and eastern winds can occur more often in summer, in the hot scenarios. But this does not say anything about storm, but average wind direction.'

On top of that are all infrastructural assets equipped with a lightning rod to protect the operator panels and other electrical parts. So, thunder would not harm infrastructure and is not included in this research.

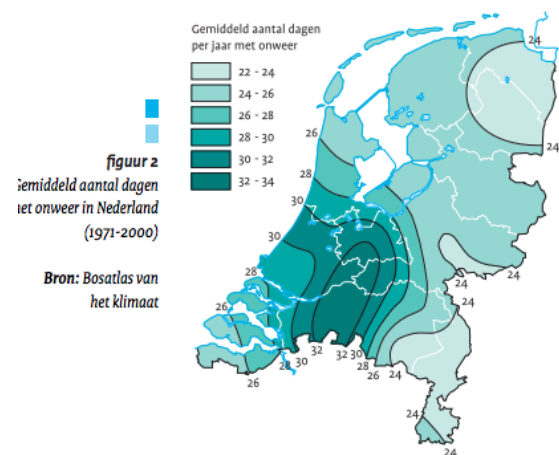


Figure 14 Average days a year of days with thunder. Source: KNMI (2015)

Hail

In the Netherlands hail will become stronger. More water vapor leads to more condensation warmth, which leads to stronger vertical movements in the clouds. Due to a lack of measurements and research there is uncertainty about the worldwide changes of frequency and hail and thunder the past decennia. In the Netherlands hail will become more intense. Water vapor leads to more condensation warmth which will increase hail, with bigger hailstones. In the W_H scenario in 2050 will extreme hail occur twice as much compared to 1981-2010 (KNMI, 2015). Hail can be very damaging to materials and nature if the hail stones are big. Hail is therefore included in this thesis as a climate change impact.

Sight

The sight in the Netherlands has improved over the past years. The number of hours with fog have decreased from 500 hours in 1956 to 200 hours in 2002. One hour of fog is defined as less than 1 km sight. In the Netherlands are big national differences. Close the shore is 60 hours less fog compared to the rest of the country. The improvement of the sight and decrease of fog is attributed to the decrease of air pollution (KNMI, 2015). In the future, the sight will improve more, but not as strong as the past 30 years. For 2050 the fog hours are estimated on 190. After 2050 is further decrease small. This decrease is visible in Figure 15. The change is in every scenario the same, because the same decrease in air pollution is assumed (KNMI, 2015). Since the decrease in fog hours is not caused by climate change directly, this will not be included in this research. On top of that has a bad sight no direct influence on infrastructure.

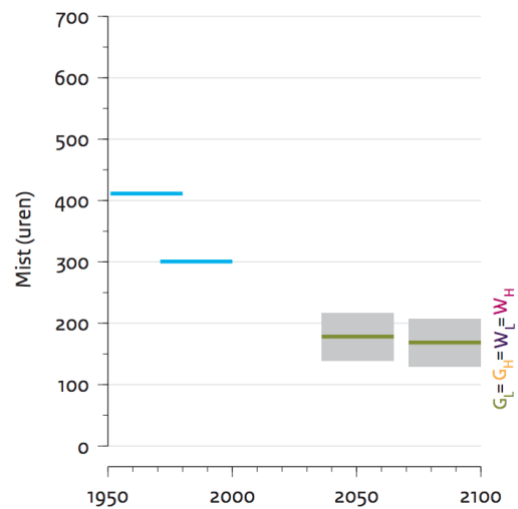


Figure 15 Hours of mist. Source: KNMI (2015)

Climate impacts on infrastructure, and thus included in the research:

- Hail

2.4.6. Clouds, solar radiation, evaporation, drought

Solar radiation

Since the 1950s the amount of clouds has not changed much but the solar radiation has increased. A reason for this is that the air became cleaner and thus more transparent. The measurements also show that solar radiation has increased in clouded circumstances which suggests that clouds have become more transparent due to less air pollution. In the W_H scenario there is a slightly decrease in clouds which is a cause of the more frequenter eastern winds. Therefore, the solar radiation increases (KNMI, 2015). However, the UV-radiation is dependent on the thickness of the ozone layer. The ozone layer shows signs of recovery due to international measurements that are determined in the Montreal Protocol in 1987. According the climate models, the ozone layer will be fully recovered in 2035 above the Netherlands and above Antarctica in 2055. (KNMI, 2015) UV-radiation can have a damaging effect on some types of materials and thus might have an effect on infrastructural assets.

Evaporation

Evaporation can only occur when the soil has enough water. Between 1958 and 2013 the evaporation increased with 12%. This is calculated with the Makkink formula. More evaporation is caused by the increase of temperature and solar radiation. The Makkink formula is also used to predict evaporation. It is expected to increase proportional to solar radiation. It also increases with 2% for every degree the temperature rises (KNMI, 2015). Evaporation goes together with drought and cause a dry soil that might damage grass and nature. Also, evaporation in lakes and rivers cause a low water level that might influence infrastructural assets.

Drought

IPCC states that there is not much certainty about worldwide changes in drought. Since 1951 drought is a little bit more common in the Netherlands and this trend will continue. Indicators for drought, like lack of precipitation, increase in the W_H scenario which was visible in Figure 9. Therefore, in the future drought will occur more often according to the calculations (KNMI, 2015). Drought goes together with temperature rise and a lack of precipitation. A lack of precipitation lowers the water discharge of the rivers and influences a low water level. Also grass die or loose strength. These impacts have an effect on the infrastructural assets around them.

Climate impacts on infrastructure, and thus included in the research:

- Solar radiation
- Evaporation
- Drought
- Low water level

2.4.7. CO₂ Content

During the literature research is found out that not only sea level rise and weather impacts influence infrastructure. In a study of Stewart, Wang & Nguyen (2011) is described that the atmospheric CO₂ itself is a major cause of reinforcement corrosion in concrete infrastructure. Deterioration is regarded as one of the important factors that could significantly change the long-term performance of concrete structures. Climate change will also increase the atmospheric CO₂ and will thus increase the corrosion. Lots of infrastructure in the Netherlands is built of concrete and will be influenced by this increase of CO₂. Thanks to ancient air bubbles in ice, we can see what the Earth's atmosphere and climate looked like in the past. They tell us that the level of carbon dioxide in the atmosphere are higher than they have been at any time in the past 400.000 years. This is visible in Figure 16. During ice ages, CO₂ levels were around 200 parts per million (ppm) and during warmer periods they have hovered around 280 ppm. In 2013 the CO₂ levels surpassed 400 ppm for the first time in recorded history. This shows a remarkably constant relationship with fossil-fuel burning, and can be well accounted for based on the simple premise that about 60% of fossil-fuel emissions stays in the air (NASA, 2018).

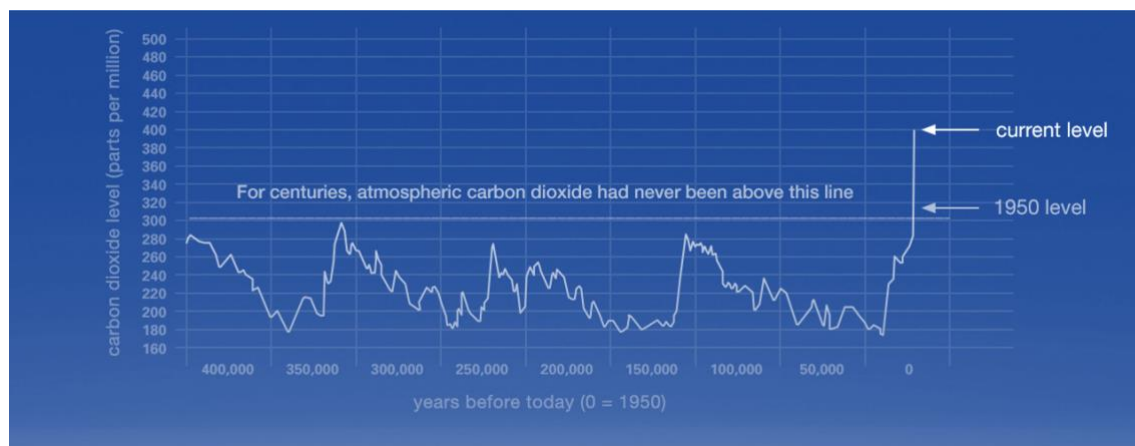


Figure 16 Atmospheric carbon dioxide. Source: NASA (2018)

To investigate what the impact of humans is on the CO₂ emission in the future, three scenarios are defined. The A1F1 line (Figure 17) considers a carbon emission scenario, which assumes very rapid economic growth, a global population that peaks in midcentury and declines thereafter, and the rapid introduction of new and more efficient technologies, substantial reduction in regional differences per capita income and intensive fossil energy consumption. This scenario we use for the extreme prediction that is comparable to W_H. A1B has similar assumptions as A1F1 except balanced fossil and non-fossil energy consumption. In addition, the scenario of CO₂ stabilisation at 550 ppm by the year 2050 is also introduced to consider the effect of policy intervention. So all three scenarios together represent high emissions, medium emissions and the emissions under policy influences, respectively (Stewart, Wang, & Nguyen, 2011).

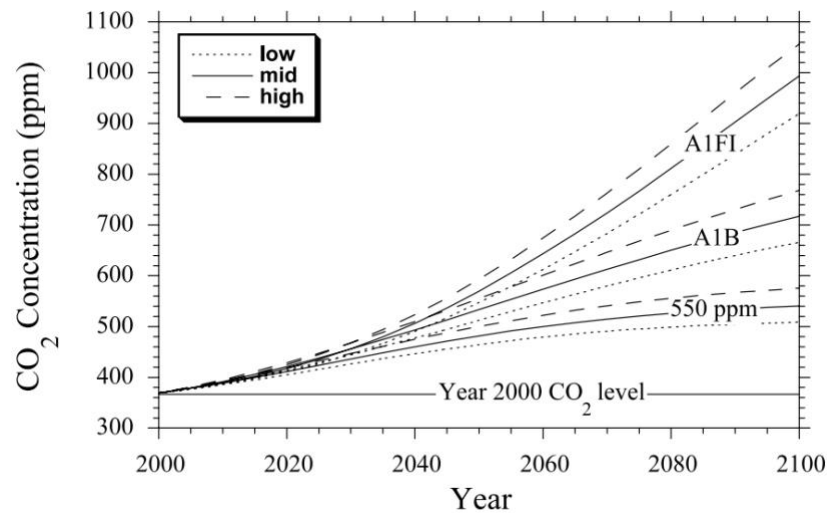


Figure 17 Predicted low, mid and high estimates of CO₂ concentrations. Source: Stewart et al (2011)

Climate impacts on infrastructure, and thus included in the research:

- CO₂ content

2.5 Climate impacts

All climate impacts that affect infrastructure are shown below. The KNMI described in their Klimaatscenario's '14 the following definitions that are used to quantify the impacts. In this research, the same definitions will be used. The prospects are expressed in those numbers and arranged in Table 1. Table 1 is based on the insights of the KNMI Klimaatscenario's '14.

Climate change impacts that affect infrastructure:

Heat waves	<i>amount of days per year with a temperature of > 25 degrees</i>
Ice days	<i>amount of days per year with a max temperature below 0</i>
High water level	<i>increase of yearly average precipitation</i>
Extreme: rain showers	<i>days with 50 mm or more</i>
Average sea level	<i>average centimeter of rise</i>
Sea level rise + storms	<i>more extreme circumstances + extremer circumstances</i>
Hail	<i>days with hail</i>
Solar radiation	<i>kilo Joules per square centimeter</i>
Evaporation	<i>Makkink formula</i>
Drought	<i>precipitation shortage that is exceeded every ten years</i>
Low water level	<i>precipitation shortage that is exceeded every ten years</i>
CO₂ content	<i>parts per million</i>

Climate impacts:	1951-1980	1981-2010	2085 W_H
Heat waves	13 days	21 days	48,3 days
Ice days	11 days	7,2 days	Less than 0,72 days
High water level	774 mm	851 mm	911 mm
Rain showers	5 days a year	8 days a year	17 days a year
Average sea level	4 cm below NAP ²	3 cm above NAP	+45 - +80 cm above NAP
Sea level rise + storms		Reference period	More extreme circumstances will occur and the circumstances will be extremer
Hail	<i>No data</i>	Reference period	Hail occurs twice as much with bigger hailstones
Solar radiation	345 kJ/cm ²	354 kJ/cm ²	359 kJ/cm ²
Evaporation	534 mm	559 mm	615 mm
Drought	<i>No data</i>	230 mm	322 mm
Low water level	<i>No data</i>	230 mm	322 mm
CO₂ content	305 ppm	450 ppm	550 ppm

Table 1 Climate Change Impacts of the KNMI over the years. Source: own table.

For a high-water level of lakes and rivers is chosen to pick the increase of average precipitation as main cause for this. However, it must be noted that in some cases lakes or rivers water levels are dependent on discharge of water by sluices and pumps. When outlet sluices are used on the basis of free decay, also sea level rise plays a role in the ability to manage the water level up to a certain height.

The amount of solar radiation shows very little or no change. This means that in the future, the maintenance of the assets is not influenced by solar radiation. The damage that is caused by harmful UV-radiation will not increase or decrease significantly. Therefore, it is not interesting to look into solar radiation and it is excluded from the research further on. Evaporation is calculated with the Makkink formula and increases with the same level as solar radiation. So, evaporation is also left out since there will be no significant change as well.

² NAP: Normaal Amsterdams Peil. All heights in the Netherlands are measured in relation to the same level. This is a zero point that is approximately equal to the average sea level of the North Sea.

The amount of ice days decreases drastically. In 1951-1989 we used to have 11 days with a maximum temperature below zero. In 2085 this will just be 0,72. Since the changes of problems that are occurring due to low temperatures and ice formation got very small, this climate change impact is left out of the research.

The climate impacts *drought* and *low water level* are caused by the same aspect: a lack of precipitation. However, the impacts are treated separately since they differ a lot and have a different influence on infrastructural assets. Therefore, both are included in the research. The estimated future behavior is based on the same data.

After these two considerations, the following list of the climate aspects is used in this research:

1. Heat waves
2. High water level
3. Rain showers
4. Average sea level rise
5. Sea level rise + storms
6. Hail
7. Drought
8. Low water level
9. CO₂ content

All climate impacts of the KNMI are included based on the Klimaatscenario's '14 plus the CO₂ content based on the article of Stewart et al (2011). Three factors determined if they are used in the research method:

1. They have to be caused by the human enhanced climate change. Average wind, wind flags, thunder are not included since they are dependent on natural variations of the climate. Wind and wind flags can occur together with a high sea level, rain shower or hail. Those are so called compound events. But, the cause of those winds and wind flags is not directly related to the enhanced climate change and they are not occurring more often due to climate change. Therefore, winds and wind flags are not included.
2. There has to be a significant change in 2085. Clouds/solar radiation and evaporation are not included since there is very little or no change in the future.
3. The climate change impact has to have a regular chance of occurring in 2085. The climate change impact can occur nowadays with a certain frequency, but can become rare in 2085. When looking at ice days, this is the case. Since the chance of an ice day in 2085 is 0,72 days on average a year, while nowadays this happens 7,2 days a year. So, ice days are left out.

3. Research Methodology

In order to give answer to the research question, a method is developed that exists of several steps. On the basis of the sub-questions is explained what the methodology is for those steps. Two of the steps are elaborated and applied to a case study. The first step is described in section 3.2 and is an analysis of the impacts of climate change on infrastructural assets. In section 3.3 is the second step described and indicates what uncertainties need further research and focus.

3.1 Developing a method

The objective of this study is to find out what the effects of climate change are on infrastructural assets and how infrastructural asset designs can be adapted to anticipated climate change effects. In order to achieve this a method is developed. On the basis of the sub-questions the method is explained.

1. What are the expected impacts of climate change on built infrastructural assets in the Netherlands?

This is the analysis part. The goal of this sub-question is to gain insight in how climate change affects infrastructural assets. The method introduces a structured approach which makes it possible to appoint every effect that is theoretically possible that influences the asset. The structured approach indicates if climate change affects the reliability of the asset, if the asset wears out quicker, if the use of the asset changes or if the capacity of the asset is changed. The method makes it possible to assign those impacts to a certain climate change effect and an asset part. So, all the impacts are labelled to a climate change effect and asset part. By dividing the parameters, all aspects are dealt with and assessed. The assessment is done by experts that reflect on the combination of parameters. The first sub-question corresponds with the first step of the method. The first step of the method is carried out twice: on current asset designs and, if maintenance is planned, also on the same assets after maintenance plans. By assessing the asset after maintenance plans, also asset designs are assessed that are as up-to-date as possible. By doing so, the recent insights of climate change are included in the assessment, even if the maintenance plans are not carried out yet.

2. What are the problems that need to be adapted to the impacts of climate change in future assets?

In the second question, we focus on the problems that lack knowledge. The second step is needed to minimize the number of uncertainties by looking at other areas of knowledge and thus save time by marking the unexplored problems. Some of the problems are already investigated in other areas of expertise and this knowledge can be exchanged among engineers. This can be done in several ways. Other areas of expertise can be peer engineers within the company by organizing a meeting to exchange knowledge, or engineers at other companies, technical universities or by looking abroad. In this report, this is done by looking at foreign situations and minimize the number of problems.

3. What steps can be taken to adapt infrastructural assets to those problems?

This third question reveals what further steps can be taken to make the infrastructure more adaptable. In chapter 4 those steps are shortly described. Step 1 and 2 are elaborated in this thesis and applied to a case study. The remaining steps are not applied to a case study in this report.

To validate the method, it is (partly) applied to a case study. A case study is used to work out the method in a practical way. The method is applied to an empirical case and shows how easy, reliable and comprehensive the method is. To give the method a universal and big impact, the example that is used should collect data from a wide range of asset types. So, the infrastructural asset that is used to validate the method needs to be situated in the Netherlands and have variety of components to address a wide range of possible problems. This shows if the method is versatile and usable in different areas of expertise. Afterwards it is possible to find out if the method is usable in the different fields that were assessed. This way insight can be gained on the feasibility of the method.

3.2 Step 1: Identifying and assessing anticipated climate change effects

In order to make infrastructural assets adaptive to climate change, first needs to be explored what impact climate change has on infrastructural assets. This is done in this first step of the method and corresponds to the first research question. The first step is based on dividing the asset in smaller pieces and assess the impacts of climate change on the parts separately. Labeling the climate impacts makes the broad term climate change better manageable. The asset that is examined will also be divided into asset parts. The method works by dividing the two parameters (climate change and asset) in smaller pieces. The climate change effects and asset parts are combined and assessed by experts. This way problem areas can be easier appointed. This structured way of operating makes sure nothing is skipped. All parameters are combined and assessed on the effect on the asset part directly. If a combination has an uncertain outcome, it is noted as a problem.

Climate change and the effects are analyzed (Chapter 2) and the following distinct impacts are found:

1. Heat waves
2. High water level
3. Rain showers
4. Average sea level rise
5. Sea level rise + storms
6. Hail
7. Drought
8. Low water level
9. CO₂ content

Climate change
impacts

3.2.1. Climate change effects

The first step in the development of the method was to divide the effects of climate change in the Netherlands into smaller pieces. ‘Climate change effects’ is used as an umbrella term and is very broad. When distinct climate effects are defined, it is possible to be more specific. In chapter 2 is determined what climate change impacts have an effect on infrastructure. By splitting climate change up in smaller effects, it is possible to label the effects and causes can easier be appointed. Climate change will otherwise in its totality be too extensive and wide ranging, but those smaller effects makes the assessment of climate change on infrastructure doable. The distribution of climate change impacts is done on the basis of a literature study on climate change and its corresponding effects. The climate change impacts that are defined are a starting point. The change of the climate is an uncertain development and it is unsure how the climate change effects will develop exactly in the future. However, there are indications towards what direction the climate will move. Those provisional directions are used in this study as a base point to indicate possible risks for infrastructural assets. The research question focusses on infrastructural assets in the Netherlands, so the climate change forecasts for the Netherlands are used to extract the distinct climate change effects. This has resulted in nine climate change impacts that are of importance to this research. These nine climate impacts are part of the first step of the method to explore the effect of climate change on infrastructure in the Netherlands and are shown in Figure 18.

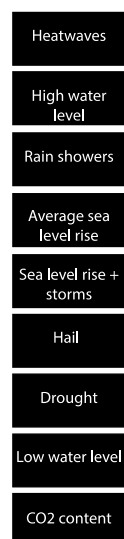


Figure 18 Division of climate change effects in the Netherlands. Source: own figure

3.2.2. *Infrastructural asset*

The other part of the first step exists also of a distribution into smaller pieces. This is the distribution of the infrastructural asset that is explored. The asset will be divided into smaller asset parts which is schematically shown in Figure 19. This is done on the basis of the NEN2767-4. This method is commonly used in the field of infrastructural asset management. The asset managers and owners already know the division and it is familiar to them. The NEN standard³ is a method to determine the condition of infrastructure. With this method, one can determine the technical state of the asset parts which is also the case in this research. The methodology focusses on the technical state of the asset parts but this time, due to climate change. So, the same division of parts is used since this division is focused on the same technical aspects. The NEN division is convenient since most asset managers and asset owners already know the division. This makes it easy for them to apply this division again and prior knowledge of the NEN is exploited. Also, the NEN is suitable because it is possible to adjust the number of asset parts and vary with the level of depth. So, the level of detail can be adjusted to what the executer considers to be sufficient to obtain the required results. The NEN can divide the asset in main parts but the NEN can also divide the asset in a detailed level. Different levels are available for the division of the asset, until every bolt and nut. In this research, the assets in the case study are divided into four to eight main parts. Otherwise the time given to perform this research would be exceeded and for this first application of the method, it is not necessary to make a very detailed assessment of the asset. A first general insight in how the method will work in practice is the goal for this thesis. For this division, the asset is used that is currently there. Future renovations are not included yet. By using the current asset, problems due to climate change that are already happening are also included in the research.

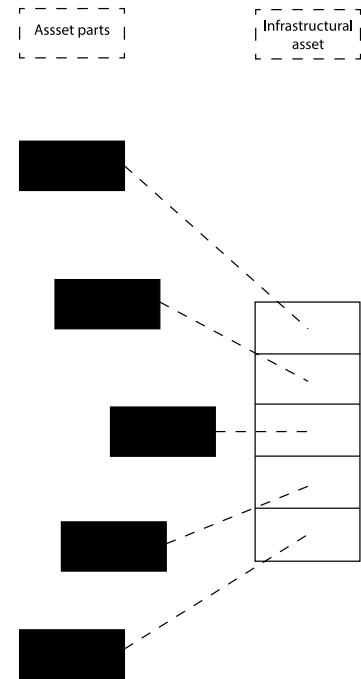


Figure 19 Schematic division of infrastructural asset parts. Source: own figure

³ The norms are agreements between several interested parties that voluntarily agreed on. Together those parties form the norm-commission that develop the norm and is guided by NEN (Stichting Nederlands Normalisatie Instituut, 2018).

3.2.3 Effects of climate change on existing infrastructural assets

After those separate analyses of climate change and asset, both analyses are combined. The asset parts are separately combined with all the climate change impacts and the model becomes complete. Every climate change impact is linked to an asset part separately as shown in the Figure 20. Every single combination is presented to an expert. An expert is someone that has a background in civil engineering and is involved in the maintenance or renovations of the infrastructural asset that is assessed. The experts are interviewed and the method is displayed in a clearer lay out of a table. This table looks like a matrix and experts are asked to fill in the matrix. The expert judges the what happens if the parameters are combined. If the climate impact has an effect on the asset part this is noted in the table. In Appendix I the general form of an interview can be found.

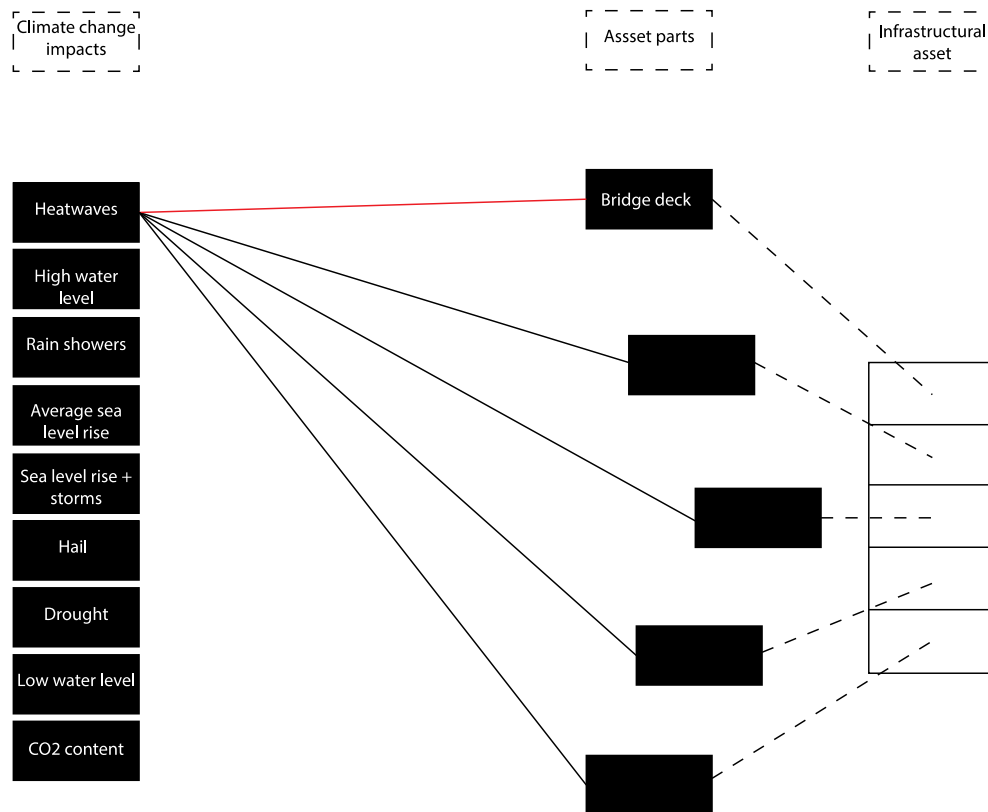


Figure 20 Example of step 1 assessment of the impact heat waves on infrastructural assets. Source: own figure

The result of the combination of the climate change effect and asset part is a new analysis that exist of the key question: ‘What happens to the asset parts material, technical state, use, capacity or reliability when the projected climate impact occurs?’. For the climate effect, there are no limitations on how to impact the asset part. The climate effects can be translated as height, duration or amount that can confront the asset. The only difference is that it will increase in any type of way in the future. The expert is free in thinking how the asset part is confronted with the climate impact, but this is approached in a systematic way of thinking. The expert is faced with all combinations possible and reflects on that. An example is, in the case the infrastructural asset concerns a bridge: ‘What happens to a bridge deck when a heatwave occurs?’ According to experts, a bridge deck is sensitive to heat and can deform which affects the reliability of the bridge. The expert elaborates on how the bridge deck is sensitive and what the consequences are. If the consequences influence the reliability, safety or maintenance of the asset, it is marked as a problem. This is based on their experience over the years. All the problems are marked. The problems display an uncertain event that might happen to the asset part in the future as a result of climate change. Those events are referred to as uncertainties.

So, the experts use their expertise and experience to estimate if problems have occurred or might occur in the future. Every expert has a different framework on what is an issue and what is not. Not all climate impacts might be recognized as a risk for the asset by the experts since the assessment is based on their current way of thinking, with the current requirements and norms. So, the response of the expert is

an assessment on the basis of their current framework. This provides guidance in identifying problem areas, but when interviewing more than one expert per asset it is possible that not exactly the same data is obtained. This method does not focus on giving an integral answer to the question what the impact of climate change is on infrastructural assets. This is not possible since all experts have a different framework. The first step tries to identify what the impacts of climate change are on infrastructural assets but also shows what impacts experts do not agree on. They might have a different opinion about the expected impact. The aspects might raise discussion between the experts and new insights can be gained by knowledge exchange on how to deal with climate change.

The nine climate change impacts that are defined in the previous chapter are based on the climate change effects in the Netherlands which means this method is only applicable to Dutch infrastructural assets. So, for Dutch infrastructure this step is repeated nine times per asset part. By assessing the impact of climate change on infrastructural assets in a structured and systematic way combinations of asset parts and climate change effects can give surprising combinations that leads to a way of thinking that is different an expert would normally do. An expert is tempted to think of the already known situations, situations that are already happening or can happen in the near future. This is because it can be very hard to imagine how certain factors will evolve in the future and how this affects infrastructure. The method focusses on the climate impacts in 2085 which means that some climate effects are most probably aggravated. So, in the first step of the method it is easier to imagine how two parameters will interact since they are already brought together and the expert can reflect on those parameters. This way, the method exposes other situations that might not be very common nowadays, but in the future, might occur more often. Another thing that is gained by using the method is looking at climate effects that are underexposed by asset owners and designers nowadays. Those underexposed climate effects are seen as not harmful yet for infrastructure but might be a threat in the future. The expert is forced to think more critically about those climate effects. When the connection is made between the asset part and the climate effect and the expert brings up a possible impact that influences the asset in any possible way, it is identified as an uncertainty.

The uncertainty can be a possible problem but also an opportunity. Climate change is most of the time seen as an event that brings problems. However, it might be time to embrace it and explore if there are any opportunities that might turn out as advantages for infrastructural assets. This is also possible with the method and happens the same manner as the problems but now the impacts are positively relative to the reliability, wear, use and capacity.

In this research, we focus on the possible problems on infrastructural assets due to climate change. Some combinations of parameters have no effect to the asset at all and are not discussed further on. The expert elaborates upon the identified uncertainties. The combination of a certain climate effect and asset part can be seen as a scenario. The identified uncertainties might occur in the scenario that is outlined by the method. Those scenarios are yet uncertain but have to be recognized in order to gain insights in how an asset will act in a changed circumstance. After the completion of the method designers know what scenarios need to be taken into consideration in the design.

3.2.4 Uncertainties after recent insights of climate change are incorporated

The second step of the research corresponds to the second sub-question. The uncertainties that are identified earlier, are based on the effects on existing infrastructural assets. It is possible that in the meantime some of those uncertainties are already recognized and are incorporated in maintenance plans and are not possible problems anymore. Upcoming major maintenance can make the asset up to date to safety norms and this design can differ from the current design. There might be a difference in the possible problems that could occur due to climate change. So, when there are maintenance plans for the asset that is assessed, this is included in the analysis. The maintenance plans have to be of a detailed level that makes it possible to assess the asset part the same way as if before the maintenance plans. They are assessed like the maintenance is already executed. Problems that are still a risk after maintenance plans can be a serious threat for future infrastructural assets and need to be further explored.

When an asset is undergoing big maintenance the life span is extended and should function until the designated time. Recent insights in climate, traffic or other circumstances are re-calculated in maintenance plans. Some problems that are indicated as risky in the current assets are fixed after maintenance. This is

because the engineers have foreseen a climate effect and the asset can handle (more) extreme circumstances after maintenance. Interesting for asset owners is to know if even after the most recent developments in asset designs and climate projections there are still risks for the asset that might turn out negatively in the future. So, if the asset that is explored, has maintenance ahead, this has to be included and both the designs are compared. If there are no maintenance plans yet, it does not have to be compared. The asset before the maintenance plans is most likely identified with more problems since those assets are older and not up-to-date. By doing this first step twice, the asset owner can see what aspects remain uncertainties even though he tried to took the impacts of climate change into consideration in his decisions. Some indicated problems will always be a risk.

In Figure 21 provides an example showing on the left of all problems that were indicated before maintenance plans. Those problems can be a problem nowadays, or are an attention point in the future. This is a complete overview of both current and future concerns. However, infrastructure needs maintenance. This maintenance can be in the near future or is planned a few years ahead. In the case that maintenance is already planned, this is included. The second sub-question focusses on what the problems are for infrastructural assets and need to be made adaptable for. In order to answer this, the most recently renovated assets that are available need to be explored. This is shown in the right side of Figure 21.

By making a division in assets before and after (future) maintenance plans, two fields are covered:

1. What are the problems for existing assets if climate change is not taken into account?
2. What are the problems for existing assets due to climate change even though climate change is taken into consideration?

The newest designs and maintenance plans are assessed like they are already there, just like in the earlier assessment. So, the before and after maintenance designs are compared. The maintenance plans are according the newest calculations and insights in climate change. So, the most up-to-date information is used in order to meet the demands for safe infrastructure. But the question is if this is enough for all identified problems. Probably not. There will always be uncertainties and those problems are still concerning after those renovations. When the infrastructure is under construction, it is possible that some of the earlier problems are solved after maintenance. Those problems are excluded further on in this research. So, the focus is on possible problems that remain uncertain after recent insights of climate change.

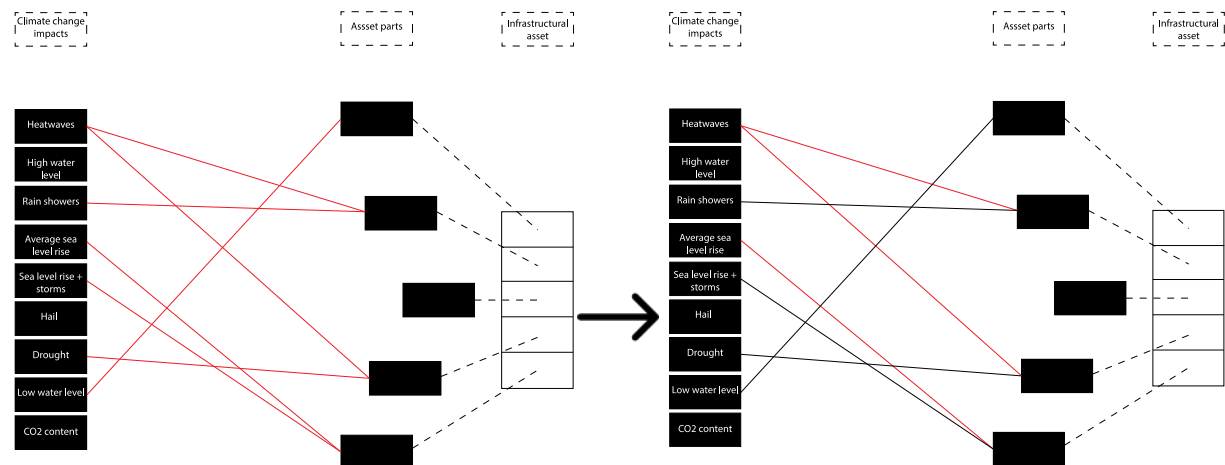


Figure 21 Application of first step of method before and after maintenance plans. Source: own figure

By looking at the future renovations that are already planned, some of the earlier appointed problem areas, are not a problem anymore and can be eliminated. After step 1 is finished, the exploration of problems of infrastructural assets due to climate change is completed. This is the analysis phase. Those identified problems, form the specific set of uncertainties the infrastructural assets need to be adaptive to.

The case study that is used in this thesis has to have big renovations prospected in order to conduct the two explorations in the first step. To use the method, it is not necessary to use an asset that will be renovated in the near future, but since this is the first try of the method, it should be used as extensive as possible.

3.3 Step 2: Minimizing indicated problems

The problems that are indicated in the first step of the method form the input for the second step on how to make infrastructure more adaptable. This means the method moves from analysis with indicated uncertainties to a step where the uncertainties are minimized as much as possible and focus on the areas that lack knowledge. This way the number of uncertainties can be minimized and the focus is on uncertainties that lack knowledge that is also not available from other areas. In the first step is determined what problems form a potential risk for infrastructures in the future and in particular what climate change effects pose a potential problem for what elements of infrastructures and thus what aspects need to be adaptable. This gives insight into what parts are potentially the weakest and the research question is how those parts can be designed or managed, such that they are adaptive enough to deal with the scenarios. So, the second step focusses on limiting the number of problems that are the cause of the need of adaptive infrastructure. This step is based on the idea that potential solutions that allow (parts of) infrastructural assets to cope with expected climate change effects in the future can be copied elsewhere. In the second step engineers have to look around and explore if some of the indicated problems can be solved in a simpler way than inventing their own solutions. This minimizes the number of possible problems and can save the engineers time and money.

In this research, other areas of expertise are explored by looking at abroad situations. Strategies in design or use of the asset and parts that decrease or correct the problem that are different abroad compared to the Netherlands can be used as an inspiration. Knowledge can be generated that can be applied to the design and provide guidance on how to handle the identified uncertainties. The climate change impacts that are indicated in chapter 2 are the impacts that the KNMI expects to happen in 2085 in the Netherlands. Some of those climate change impacts are already happening in other places of the world. Heat or drought for example is very common in southern Europe. And in southern Europe comparable infrastructural assets might be used. In a small literature study the climate conditions of Spain are explored and is determined that indeed heat waves are more common in Spain. In every well-developed (Western) country it can be assumed that local infrastructure complies to requirements, concerning safety and reliability, that are comparable to the Netherlands. It is interesting to see if bridge decks in Spain are also sensitive to heat and if not, why this is not the case. The bridge deck can be made of a different construction, different material, different maintained, different assembled etcetera. Spanish engineers are approached and they can give advice on design adaptations that are within reach for Dutch bridges. This way something can be learned from foreign situations. The executor of the method does not have to think of solutions him or herself, but can use other countries' situations as an example. Those countries are already dealing with the climate impacts and for them it is no longer futuristic, but needs to be dealt with for the past decades. Foreigners have developed experience concerning some climate effects. For Dutch engineers, it is still hard to imagine how the climate effects the assets, so looking at foreign engineers might be very helpful.

First, you start with a problem that is indicated in the first step of the method. One problem at a time is investigated. This problem is caused by a certain climate effect. By looking at examples in other countries can be found out how is dealt with the issues over there and knowledge can be generated. We use the same example that is discussed earlier: a bridge deck sensitive to heat due to heat waves. A heat wave is a climate change effect that is already happening nowadays in other countries in the world very often. So, for example we pick Spain. Spain also has bridges and thus bridge decks. By approaching Spanish engineers, knowledge can be exchanged. The foreign engineers might recognize the problem and can help

in developing solutions for it in the Netherlands. Technical solutions in other countries cannot be blindly copied. So, first thing in this process is to explore what underlying design aspect is different in Spain compared to the Netherlands. This design aspect is investigated and it is explored what the options are for implementing this design aspect in the redesign of Dutch infrastructural assets.

This second step cannot eliminate all problems. First of all, not all climate effects are already happening in other countries while not giving trouble. Some climate impacts are simply also a problem in other countries because they are too strong or unpredictable. Secondly not all infrastructure is comparable to infra in the Netherlands. Every situation is different and some infrastructure might be one of a kind and is not as easy to compare and copy solutions. The exact criteria for when to approach foreign engineers and look at foreign situations differ per indicated problem but general requirements can be made:

- ❖ A comparable climate situation that is common in the other country
- ❖ Comparable infrastructural asset
- ❖ Comparable norms regarding safety and reliability
- ❖ The indicated uncertainty is not a problem in foreign asset

This step is a helpful tool to minimize the number of problems and make a refinement for the problems Dutch engineers really need to look into. The problems that are left cannot be compared to other (foreign) situations and need to be solved by the engineer himself. Those are the residual problems relative to the indicated set of problems earlier.

Completion of the second step brings us closer to indicating how infrastructural assets can be made adaptable. The first step of the method analyzes first what concrete problems are of infrastructural assets that need to be solved. The second step will lead to fewer problems that need a specific strategy. However, after step two, the method is not finished yet. In the next chapter is elaborated what further steps are needed. For this research only the first two steps are executed.

4. Total Method

The described two steps in the previous chapter can be seen as part of a bigger, total method. The elaborated steps form the basis of finding adaptive solutions, but more steps need to be taken to derive those exact solutions. The total method is shown in Figure 22. Step 1 and 2 are elaborated in the previous sections and step 3, 4, 5 and 6 are discussed shortly in this chapter. The red boxes indicate what fields are covered in this research. The other boxes are not elaborated in this research and not devised in the case study. However, in order to answer the research questions those last steps need to be performed.

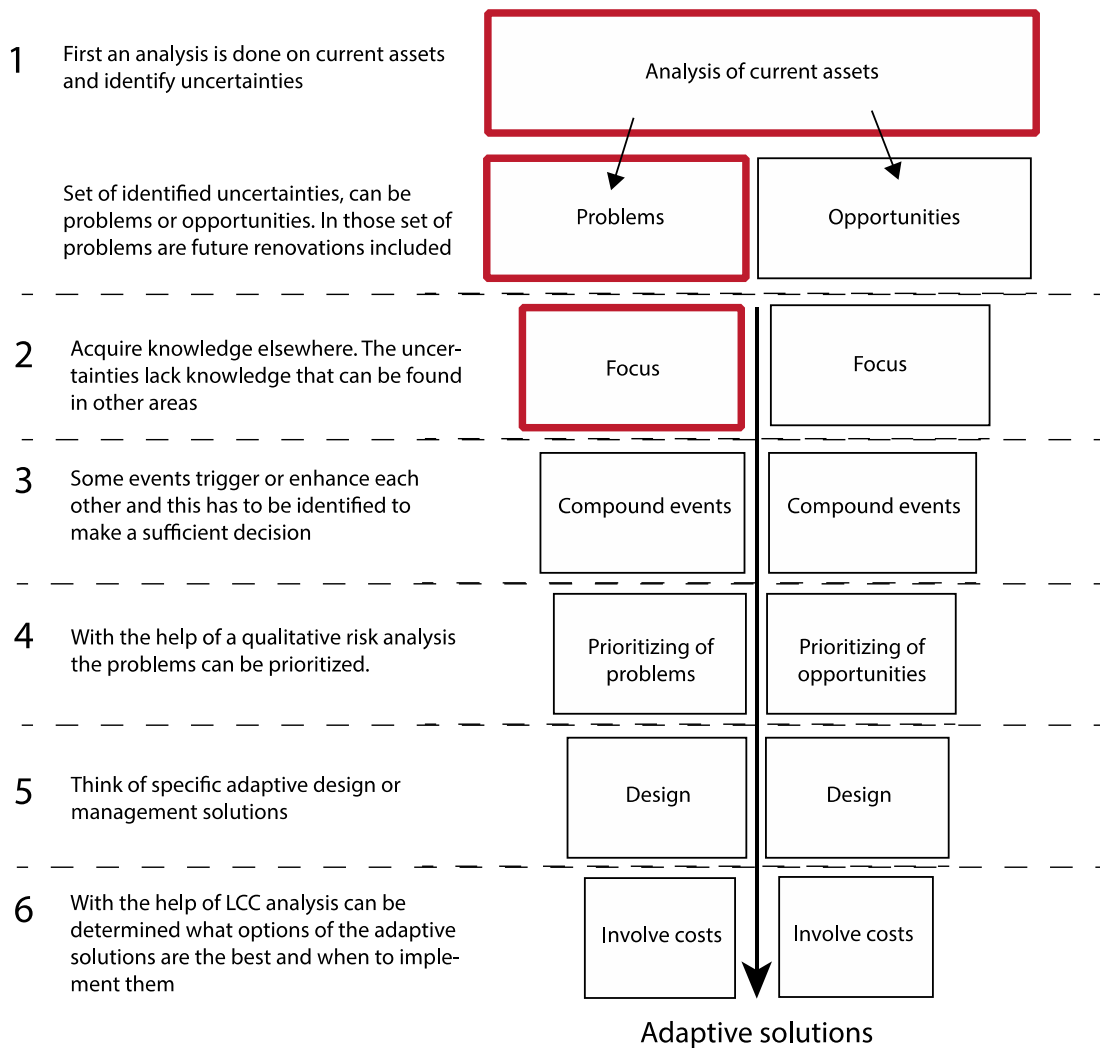


Figure 22 Total method. Source: own figure

4.1 Step 3: Compound events

In step 2 the focus is on all the uncertainties that lack knowledge and further steps indicate the adaptive strategy. The third step explores what the combination of uncertainties means. It might be possible that some events trigger or enhance one another. This can make the effect more severe. Otherwise it can also happen that two events happen at the same time and worsen the impact. In other words, interdependence and amplification between events has to be investigated in order to make a sufficient decision. So, the combination of extremes, compound events, has to be included. The combination of variables that are not all necessarily extreme but the combination of those events that leads to an extreme impact is referred to as a compound event. (Zscheischler, Westra, van den Hurk, Seneviratne, & Ward, 2018). The concurrence and coherence of the different climate change effects is important and is needed to be explored to take further decisions. Problems might become more severe when they occur at the same time or just after each other. An example of this is that during a heat wave it is very likely that the area also has to deal with drought and a low water level. Because of the heat the water will evaporate quicker which leads to a lower water level. Another example is a period of drought followed by a rain shower. When those events occur quickly after each other the plants are damaged by drought and subsequently easier washed away by the heavy rain. When those events both happen in a short period of time the effects are more damaging. This makes certain combinations of events more serious threat and this distinction is needed in the next step of the method.

4.2 Step 4: Prioritizing of problems

Step 4 involves prioritizing of problems. Breaking up the inputs of climate change and assets gives us numerous combinations and investigate all of them can be time consuming. The risk of using this method is to be too focused on small aspects that might not be relevant and have less attention for the problems that really matter or are more severe. Therefore, the identified problems have to be prioritized. Some problems that are identified are just an unpleasant situation like a temporarily water surplus in the IJsselmeer or on the road while others might destroy the asset and cause big renovation costs. This happens when for example doors or gates break due to waves. In other words, some problems are more problematic because of the disastrous outcome while others are just inconvenient since they are temporary. Up until now, the method does not distinguish this nor gives priorities. So, a risk analysis can determine what the risk is for the environment and quality of the asset. The first steps of the method tell us what could go wrong and how it can happen. The risk analysis tells us how likely it is to happen and what the consequences are (Schultz, 2010). A particular problem that occurs often but causes little damage might be worth solving. While a problem that is very severe but almost never happens is not worth it. Multiple other methods are available that calculate the probabilistic aspects of those decisions and can distinct importance between the identified problems. The risk analysis will also reveal what problems are more urgent and what problems are not. Many risk analysis methods are available. The next paragraph gives a suggestion.

The developed method is comparable to an FMEA. The Failure Modes and Effects Analysis is a qualitative approach which aims to systematically identify failure modes of the components and the associated consequences. The FMEA offers an overview that is as complete as possible of all the foreseeable unwanted events and consequences. (Jonkman, Steenbergen, Morales-Nápoles, Vrijling, & Vrouwenvelder, 2017). The developed method is comparable to some level to the FMEA analysis. The systematically and the division of components are the same. However, the FMEA is not focused on causes by climate change and does not use scenarios, so there is a significant difference. An FMEA becomes an FMECA by adding a criticality analysis. For the method, this can be in the same manner as in the FMECA. An FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) is commonly used among asset managers. An FMECA can chart the probability of the failure modes against the severity of their consequence (Willoughby, 1966), which is what should be done in the fourth step of this method. The FMEA identifies failure modes and their effects. This is comparable to the first two steps of the method, to identify the problems. The failure modes (problems) and the probability of those are put in a risk matrix and the analysis turns into an FMECA. This is the criticality analysis and shows us what problems are worth solving and which problems are not.

A risk matrix can determine a ranking of problems and highlight the frequency of problems and their consequences. The data included in the risk matrix for this research should be:

- Frequency of the problem: λ_i
- Time span of the problem: t_i
- Likelihood of the problem: P_{si}
- Damage factor of the problem: S_i (estimated by experts)

This results in the criticality factor: $C_i = \lambda \ t \ S \ P_{si}$

The magnitude of C_i determines the order of the problems. (Jonkman, Steenbergen, Morales-Nápoles, Vrijling, & Vrouwenvelder, 2017). In the method in this research, all problems are caused by climate change. In chapter 2 an extensive literature study is done on the climate change impacts in the Netherlands. The frequency, time span and likelihood are all estimated in chapter 2 and that data can be used. The damage factor is not yet estimated, but this should be done by the experts. After the criticality factor is calculated, it can be determined what problems need solutions in order to be adaptive. So, this step eventually minimizes the set of identified problems once again.

4.3 Step 5: Adaptivity in design or management

In step 5 has become clear what uncertainties lack knowledge and need adaptive solutions after prioritizing them with the help of the criticality factor C_i . In step 5 the brainstorming for adaptive solutions for the identified uncertainties begins. Those can be approached from a management perspective or a design perspective. In this stage, it is clear what issues need to be corrected in order to be adaptive so the engineers need to take all problems serious. The engineers have no limitations in thinking of solutions and can be creative and think outside the box. All problems require specific solutions and no general approach is used.

4.4 Step 6: Involve costs

In step 6 costs are involved. The engineers have developed a set of solutions and those solutions did not have any limitations on costs whatsoever. However, for asset owners those costs are decisive in making decisions. For this last step, another suggestion is done: A Life Cycle Cost analysis. With the help of a LCC can be determined what solutions are best and when to implement them. A citation of John Ruston: 'It's unwise to pay too much, but it's foolish to spend too little'. This operating principle fits LCC (Barringer & Weber, 1996). Life Cycle Costing is an estimation of all the costs involved. This is acquiring, commissioning, operating, maintaining, disposing of equipment. The aim is to ensure all costs are identified and through life costs are considered in planning, acquisition and budgeting stages. LCC can be used in acquisition decisions, asset management plans and replacement decisions (Hastings, 2015). So, after the use of LCC the investigator knows how to evaluate the single solutions of step 5. He can compare and select between different solutions and evaluate which one is most convenient. The LCC analysis tells us what is more convenient, to build a robust infrastructure or to make adaptive design and management solutions. It might be possible that looking back, it is not beneficial to make infrastructure more adaptive. It helps to make design choices and trade-off different decisions.

So, the focus in this thesis is to reveal the uncertainties that lack knowledge and need adaptive solutions. But as the total method shows, more steps need to be taken in order to give answer to the research question.

5. Case Study

In this chapter, the case study that is used to validate the method is introduced. In the first section is described how the case is selected and why this is a suitable case. In section 5.2 a system analysis of the Afsluitdijk is given followed by information about the neighboring lake, the IJsselmeer which's water level is controlled by the Afsluitdijk and thus plays an important role.

5.1 Case selection

In this thesis, a method is developed to determine the effects of climate change on infrastructure and the adaptability. A case study is used to apply the developed method in an explorative way. By using a case study, more depth is achieved and a first understanding and contours of the model can be gained. The function of the case is to show which variables matter and which do not. The variables are determined from a literature study of the KNMI (climate variables) and the NEN-2767 (asset parts variables).

Seawright and Gerring (2008) described the steps that need to be taken in order to pick the right case study. They focus in their article on factors of case selection that depend on the cross-case characteristics of a case. Which means 'how the case fits into the theoretically specified population' (p. 296). A suitable case for this research is a *typical* case, also described as representative case. This exemplifies a stable, cross-case relationship. A typical case is appropriate since the goal of this research is to develop a method and explore by means of a case study if the method is useful. For this study, the focus will be on civil infrastructure. Civil infrastructure consists of a large population of possible assets varying from transport to water management. This is one of the demands Seawright and Gerring appoint: to focus on a large population. Their second demand is that relevant data must be available. Therefore, the Afsluitdijk is chosen as a case study. Soon the Afsluitdijk is up for major renovation that happens every 20-30 years. The consortium Levvel⁴ is established to take care of these renovations. This means that there is a lot of information available since a lot of people need to look into it. Third demand they appoint is that standard assumptions of statistical research must be considered. The assets that are present at the Afsluitdijk are representable for other assets in the Netherlands and are frequent in other parts of the country. The last thing what makes the Afsluitdijk interesting for this research is the fact that the Afsluitdijk deals with a lot of different climate change impacts. It is situated in a coastal area, and separates salt and fresh water, and has to deal with sea level rise. Sea level rise can be seen as the most important consequence of a rising earth temperature. Not only the climate impacts vary a lot, also different infrastructures are present at the Afsluitdijk which also benefits the variety in which the method can be tested.

Another article, Yin (2012), elaborates more on the decision of choosing a single case or multiple cases. Whether single or multiple, you can also choose between holistic case study or to have embedded cases within an overall holistic case. He developed the two-by-two matrix that is shown in Figure 23. This shows the four different case study designs.

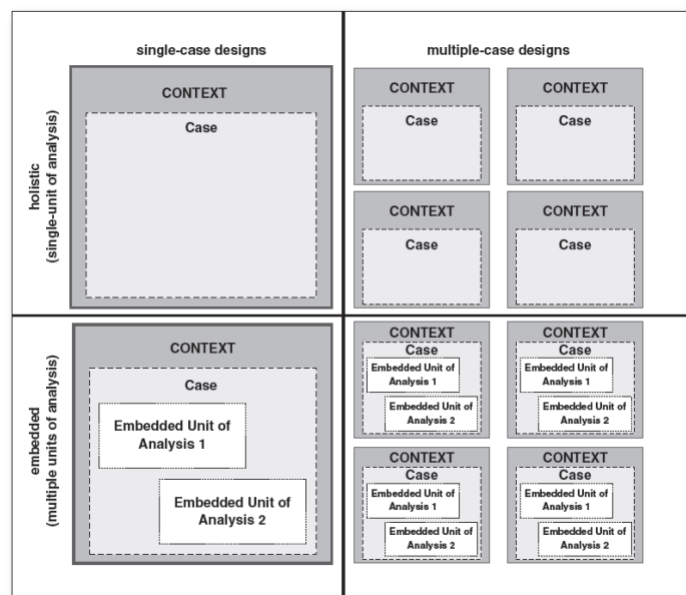


Figure 23 Two-by-two Matrix of Yin (2012)

⁴ Levvel: A collaboration of Van Oord, Bam and Rebel.

In this thesis, de Afsluitdijk is one case but has five different subcases or sub-infrastructures:

1. Dam
2. Motorway
3. Outlet Sluices
4. Ship Locks
5. Movable Bridges

This is a broad variation of sub-infrastructures and this will benefit the research. The way of questioning is the same in all sub-cases, but the questions that are asked are not the same. This research will be a single-case design with five embedded units.

When multiple *typical* cases are used it will become clear whether the method can be used and what its shortcomings might be. This might merge into a pattern-matching investigation, in which the evidence at hand (the case) is judged according to whether it validates the causal mechanisms or not (Seawright & Gerring, 2008).

Since the Afsluitdijk is renovated, two different models of the Afsluitdijk are used. The model of 1932 is the 'old' design. This is the design before maintenance. The model of 2020 is the 'new' design, after maintenance. The first steps of the renovation are taken and in 2020 the new design should be finished. This is designed to be still there in 2085. The two different designs of the Afsluitdijk will be further referred to as 1932 design and 2020 design.

5.2 Analysis of the Afsluitdijk

The Netherlands has an extensive and world-famous system for flood protection. This system is divided in primary and secondary water defenses. This can be dikes, dams, dunes, locks or storm surges. Primary defenses protect the land against floods of the Noordzee, Waddenzee, Rhine river, Maas river, Westerschelde, Oosterschelde and the IJsselmeer. These are the areas that are highly populated or have a big economical value (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009). The Afsluitdijk (English name: Closure Dam) is such a primary water defense system. The Afsluitdijk is a dam between the Waddenzee and the IJsselmeer in the Netherlands. In Figure 24 is shown what the geographical location is of the Afsluitdijk. It is a dam, but also has locks, sluices and functions as a motorway between the provinces Friesland and North Holland. The Afsluitdijk is built in a time climate change was not yet recognized. The dam itself is 85 years old and the administrator is Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat is the executive agency of the Ministry of Infrastructure and Water Management of the Netherlands.



Figure 24 Graphical Location of the Afsluitdijk. Source: own figure

So, the dam is built between 1927 and 1933. The dam was needed to protect the land against the sea but also to create more land and water for agriculture. The dam has a length of 32 kilometers and has a width of 90 meters. The dam is a straight line, except at the end, there is a small turn. This was needed because the builders needed to dodge a deep gully and it was easier to pass perpendicular and reduce the distance to be covered. The building started in 1927 and in 1932 on 28th of May the Afsluitdijk was closed. This was a memorable moment and there is a monument of a worker putting the last stone between the ends. This monument attracts yearly a lot of tourists. At that time, the Zuiderzee changed from salt to fresh water and became the new IJsselmeer and was no longer part of the sea. On the 25th of September 1933, the Afsluitdijk was opened for (motorway) traffic.

The Afsluitdijk has a lot more functions than land protection and infrastructure. The Afsluitdijk is a multifunctional flood defense and has the following main functions that are present over the entire length of the dam and its various infrastructure elements (Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017):

- ❖ Water management: The main function is to protect the country against a high-water level. Also separates the Afsluitdijk the salt water from the Waddenzee from the fresh water of the IJsselmeer. The IJsselmeer's fresh water is needed to provide drinking water and water for agriculture. The IJsselmeer is an important storage space for fresh water for the provinces close to the IJsselmeer area. Next to storage of fresh water, the sluices of the Afsluitdijk have to discharge the surplus of fresh water to the Waddenzee when the water level gets too high in the IJsselmeer.
- ❖ Mobility: The motorway A7 connects the two provinces of North Holland and Friesland. Over the entire length there is a bicycle path available for cyclists. Shipping traffic can pass the Afsluitdijk at Den Oever and Kornwerderzand through the ship locks.
- ❖ Habitation: At Kornwerderzand there are fifteen houses, at Breezanddijk is one house and Den Oever counts six houses.
- ❖ Recreation: The Afsluitdijk has a long cycle and walking route for international and national tourists. Breezanddijk has a small camping and there are several recreation facilities for fisherman, windsurfers and kite surfers. There is a war museum, the Kazemattenmuseum. Recently the

Waddencentrum was opened in April 2018 where information is provided about the Unesco World Heritage Waddenzee, the fish migration river, the IJsselmeer area and the Afsluitdijk itself.

- ❖ Defense: On Breezanddijk is a shooting range. Also, are there flight paths for military airplanes above the Afsluitdijk.
- ❖ Small economical facilities: Around the monument there is a cafeteria designed by the famous Dutch architect Willem Dudok. On Breezanddijk is a gas station and at Kornwerderzand and Den Oever is a wind turbine.
- ❖ Sustainability test centers: Several tests setups for example tidal energy, solar energy and blue energy.

On top of all this the Afsluitdijk is an icon for the Dutch and the battle against (rising) sea levels. The Afsluitdijk is designed a very long time ago but has not changed a lot since then. This makes the Afsluitdijk special and authentic. (Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017).

In Figure 25 a more zoomed version is shown of the Afsluitdijk. It shows four nodes; Den Oever, the monument and cafeteria, Breezanddijk and Kornwerderzand. In the following sections, there will be elaborated more upon Den Oever, Breezanddijk and Kornwerderzand. The monument and cafeteria are also indicated as a node. Here you have parking lots, a restaurant, mooring locations for ships and the monument as a visiting location.

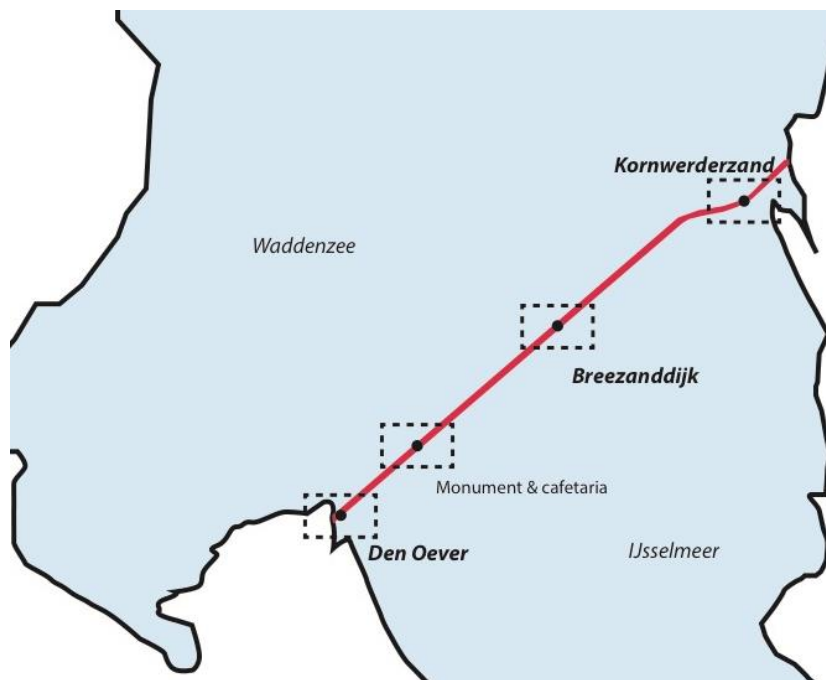


Figure 25 Zoomed Figure of the Afsluitdijk. Source: own figure

5.2.1. Den Oever

The first area you encounter when entering the Afsluitdijk in the province North Holland is Den Oever. This is on the west side of the Afsluitdijk. This is where the Stevin Complex is situated. The Stevin complex exists of ship locks, outlet sluices and movable bridges. The locks are named after Hendrik Stevin. He developed the earliest known plan to close the Zuiderzee in 1667. The plan was not feasible at that time but inspired Lely⁵ for the current design. At the Stevin outlet sluices the tidal flow test setups are situated. Also, there are two swing bridges that make it possible for the ships to enter or leave the locks and cross the four-lane motorway. This lock has mainly a recreational function and is not as busy as the locks at Kornwerderzand. The lock has its own control room (Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017). The lock has an out port and an inner port for the ships passing the lock. At Den Oever there is only one lock chamber. There are fifteen discharge channels (three groups with five outlet channels each) that can discharge water under gravity flow to the Waddenzee. Next to the Stevin Complex is a fish passage where fish can swim from the Waddenzee to the IJsselmeer. In Figure 26 an illustration of Den Oever is shown.

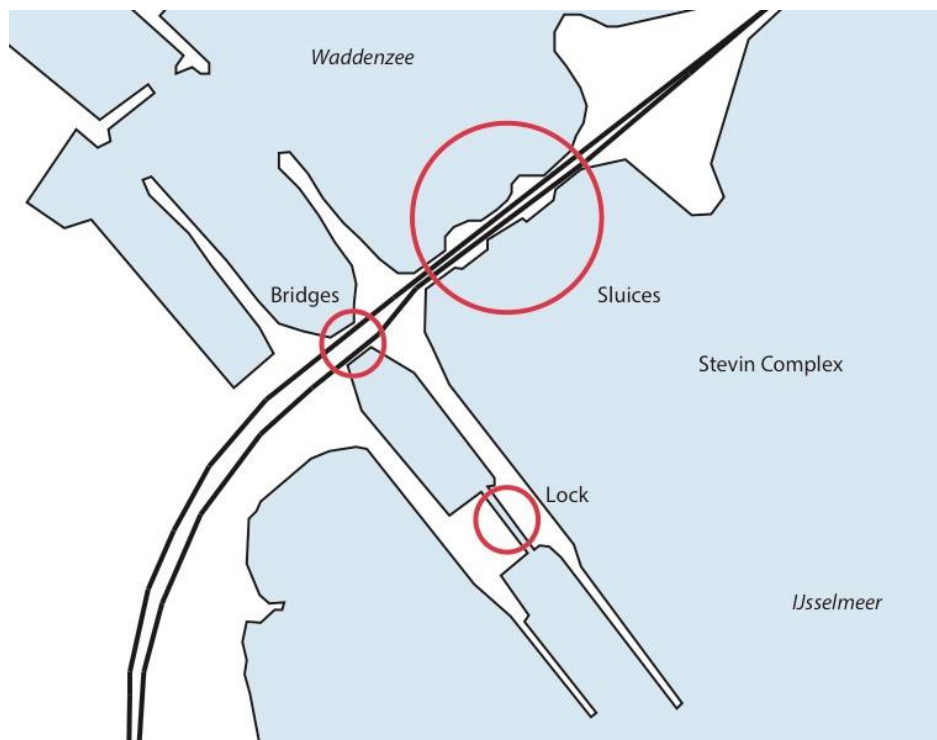


Figure 26 Den Oever. Source: own figure

⁵ Cornelis Lely was in 1891 minister of the Water Board and designed the first plans for reclamation of the Zuiderzee, which lead to the built of the Afsluitdijk.

5.2.2 Breezanddijk

The next node is Breezanddijk. This was a work island at the time the Afsluitdijk was built. Nowadays the island has several functions. The most famous one is the Blue Energy installation. This is a test center on how to receive energy from the difference between fresh and salt water. You can also find a primitive camping and a petrol station. Further on, there is a company, a shooting range for the ministry of defense and a landing site for a helicopter. On both sides of Breezanddijk are small ports. The upper port (Noorderhaven) is a safe port that can be used in case of emergencies and the lower port (Zuiderhaven) is a work port to deliver materials and etcetera. Also, a test location for solar panels in the water is present on the south side of Breezanddijk (Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017). However, in this research none of these functions of Breezanddijk are relevant. Those options do not contribute to the main functions of the Afsluitdijk as an infrastructural asset. Only infrastructural assets are in the scope that influence the availability and constructive safety directly. In the Figure 27 an infographic of Breezanddijk can be found.

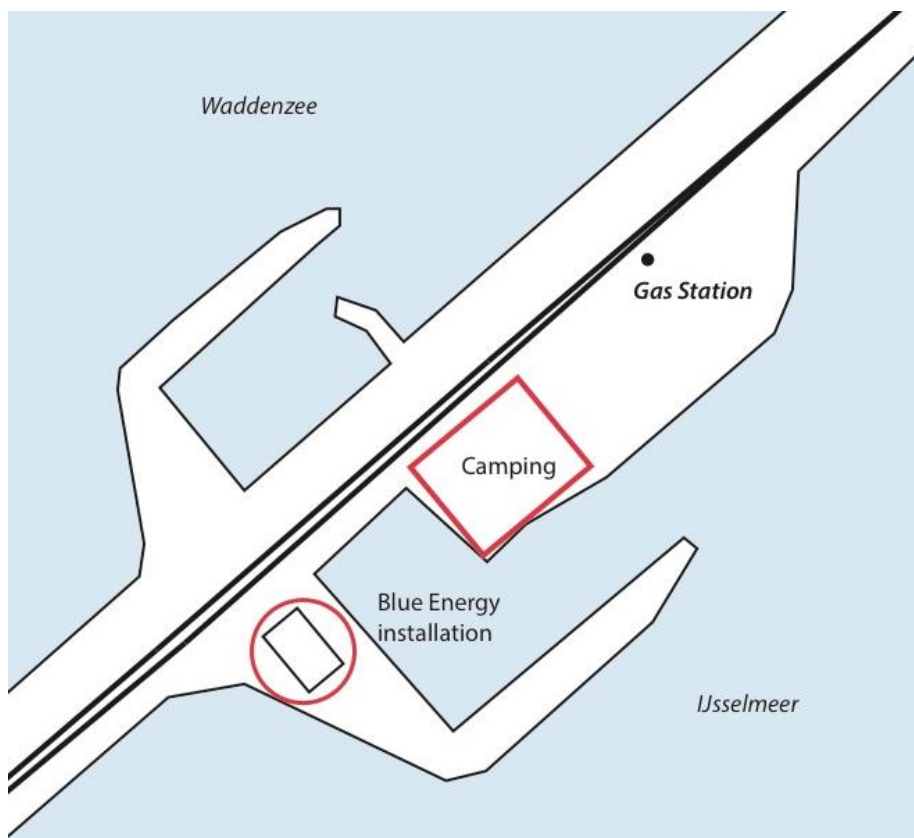


Figure 27 Breezanddijk. Source: own figure

5.2.3. Kornwerderzand

Kornwerderzand is the last one of all four nodes. Here you have the Lorentz Complex. This complex also exists of ship locks, bridges and outlet sluices and are named after Hendrik Lorentz. Before the built of the Afsluitdijk, Lorentz calculated wave equations to determine the wave heights and the needed dike heights for the Afsluitdijk. It took him eight years to solve the problem and his predictions turned out right. There are two ship locks for boats. At Kornwerderzand the outlet sluices consist of two groups of five outlet channels each. So, this one is smaller than at Den Oever. However, the locks are more extensive. At Kornwerderzand there are also two swing bridges that belong with the locks. Before and after the bridges and locks there are waiting places for the ships. The Kazemattenmuseum is located here and the visitors center as well. In Figure 28 below an infographic is shown of Kornwerderzand.

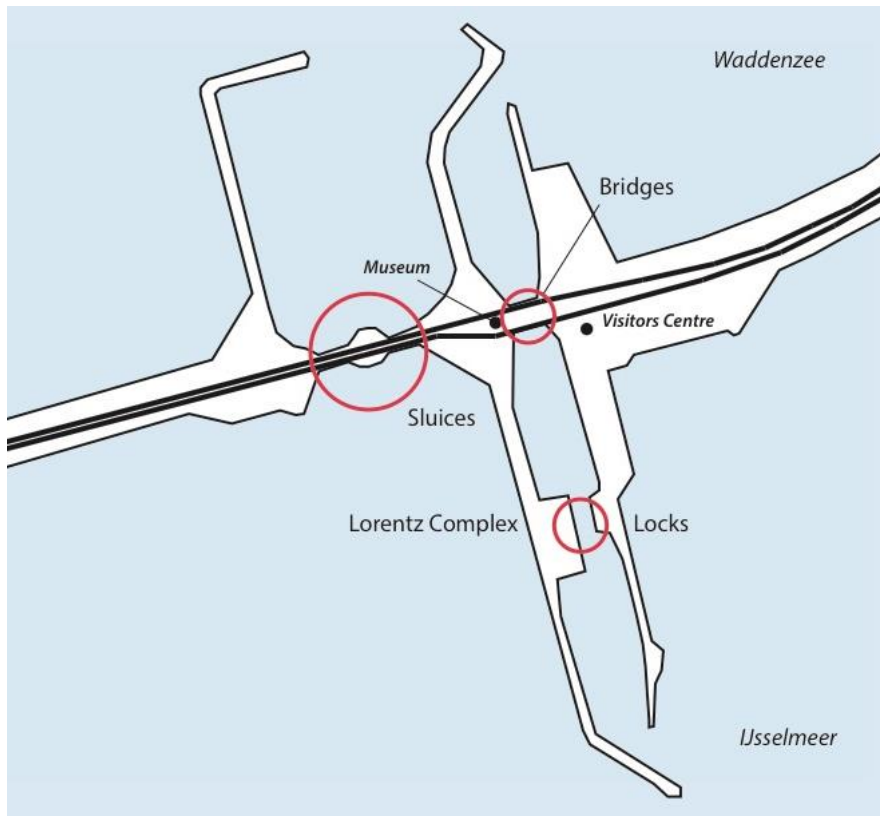


Figure 28 Kornwerderzand. Source: own figure

5.3 Embedded cases

This thesis focusses on climate change and the Afsluitdijk is providing several solutions or test area to prevent the emission of CO₂. For example, the Blue Energy installation, solar panels or the generation of energy between low and high water. Also, the fish passage delivers its value to the environment. However, all of these examples are not scoped in this research. The research assumes the climate impacts to be already there and does not focus on reducing any further climate change. So, only the effect of climate change on infrastructural assets will be evaluated.

After the evaluation of the complete Afsluitdijk, five sub-infrastructural assets can be distinguished: five embedded cases according to Yin (2012). Those five sub-infrastructures will be elaborated in the next sections.

1. Dam: In 1932, the dam was finished and the IJsselmeer was created. This made the water in the IJsselmeer fresh and it was no longer part of the sea.
2. Motorway: The Afsluitdijk consists of a motorway, the A7. This is a 32 kilometers long road with a speed limit of 130 km/h and 19.500 vehicles per day.
3. Outlet sluices: 25 Sluices to prevent the water in the IJsselmeer becoming too high.
4. Ship Locks: Three passage locks for ships.
5. Movable bridges: Two times two movable bridges are needed in order to let the ships through the locks. Those bridges are close to Den Oever and the Kornwerderzand camp in 1940. This is where the Dutch stopped the Germans during World War II. The bridges were damaged by the bombings but restored later.

(Rijkswaterstaat Midden Nederland, n.d.).

In order to function, some of the assets have control rooms, maintenance rooms or services houses etc. Those are not included in the scope of this thesis. Only the asset itself is in the scope. Those rooms are not expected to form a risk for the constructive safety and availability of the objects. They can cause indirectly non-availability but this research is primarily focused on the elements that are more related to the research question.

5.4 IJsselmeer water level

The Afsluitdijk separates the IJsselmeer and the Waddenzee. After the Afsluitdijk was built, the IJsselmeer water level could be managed by the outlet sluices. The IJsselmeer water level is of great importance to the area around it. Climate change effects the sea level, the intensity of precipitation and the drainage of water by the rivers. So, this affects also the water safety and water management of the IJsselmeer. In the literature review of Chapter 2 is determined that climate change effects have their influence on high or low water level on the canals, lakes and rivers. Therefore, the IJsselmeer is discussed as a specific lake for the case study. High and low water will be indicated further on as High IJsselmeer level and Low IJsselmeer level.

In 1976 the Markermeerdam separated the IJsselmeer from the Markermeer. So, we can use measurements from that moment on. The water level of the IJsselmeer is difficult to determine. On the basis of a report by Bos (2014) an impression is made. To calculate the general IJsselmeer water level, you need to take a weighted average of the water level at four different spots in the IJsselmeer. Due to winds the local water levels can differ a lot, but the target level is based on an average. This means that when the average water level of the IJsselmeer at some moment is calculated at -0,4 m NAP (the target level), at the southwest of the lake you could measure NAP 0 due to southwestern winds. You assume you have to discharge water. When you look at a station in the north of the lake, you assume you have a water surplus. But when you calculate the weighted average you will know that no water discharge is needed. So, you really need to look at multiple locations to calculate the IJsselmeer level. In Figure 29 a schematic overview is given of the local differences in water level that need to be considered in order to calculate an average water level.

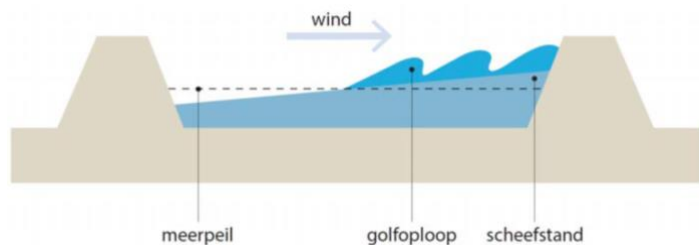


Figure 29 Local differences in water level of the IJsselmeer due to wind.
Source: Bos (2014)

The following water levels are agreed on for the IJsselmeer; winter: -0,4 m NAP and summer: -0,2 m NAP. This is determined by the ministry of Infrastructure and Water Management and signed by minister Cora van Nieuwenhuizen. The water level can be controlled by the outlet sluices at the Afsluitdijk. By keeping the water level at these heights, a balance is reached between water safety, environment and recreation.

5.4.1. Winter water level

During the winter, the water level cannot be above -0,4 m NAP. During a water level higher than -0,4 m NAP and a peak water discharge from the rivers, might result in floods elsewhere. To be able to control this the IJsselmeer water level cannot be too high in winter. The water level of the Waddenzee fluctuates on average between -0,8 m and +0,8 m NAP. Water can only be discharged when the IJsselmeer level is higher than Waddenzee level. This means that 6 to 8 hours a day it is possible to discharge water. However, it is not always possible to keep the water level precisely at this target level of -0,4 m NAP.

Ter Maat & van Meurs (2010), describe that the water level of the IJsselmeer is dependent on the following four climate factors:

1. Precipitation
2. Evaporation
3. Rhine discharge
4. Sea level rise

Not only climate factors influence this but also local circumstances. When the wind blows from an unfavorable direction and pushes the Waddenzee water against the outlet sluices or the IJsselmeer water away from the outlet sluices, it is not possible to discharge water under gravity flow. This is a rare situation that occurs once every 25 years on average. Therefore, Rijkswaterstaat introduced a third target level for the water level of the IJsselmeer. This is an extreme level that states that a water level of + 0,56 m NAP is allowed to occur once in 25 years. This is illustrated in Figure 30.

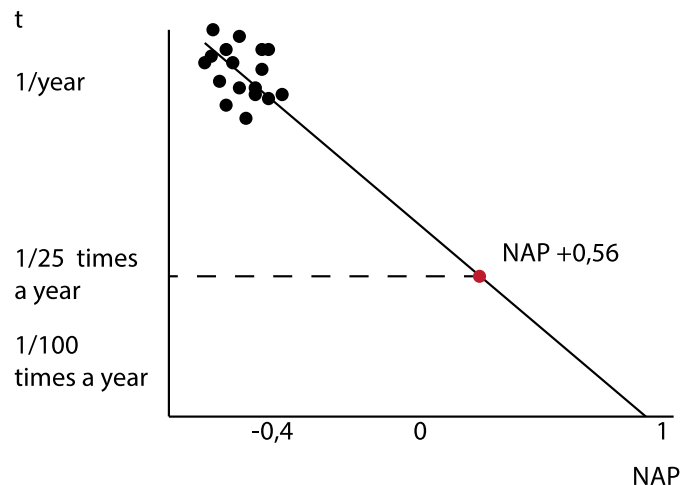


Figure 30 Extreme water level of the IJsselmeer. Source: own figure

The NAP -0,4 is the target winter level, so that is the most common water level. This is shown by the big number of black dots on the line. Once every 25 years it is assumed that the circumstances are such that it is inevitable that the water level reaches NAP +0,56 even though the water level is managed according the books. So, this is allowed once in 25 years. These circumstances are a combination of climate factors and local factors as described. For low water in summer there is no extreme water level requirement.

Rijkswaterstaat has two demands for the maintenance contractor and Level. The average IJsselmeer water level and the extreme water level. The average level is needed to provide a safe and healthy environment for nature and humans that also has a recreational value. It is also needed to appoint an extreme water level. Extreme situations on the Afsluitdijk and other water defense systems always have to deal with compound events. These extreme situations are a combination of multiple other events that are more common that happen at the same time. This can be a high water level due to precipitation and river discharges in combination with a heavy storm from an unfavorable wind direction.

In Figure 31 is shown that sometimes it is not possible to discharge water under gravity flow. When this happens for a long time the water level in the hinterland can cause floods. The limited discharge opportunities are increased by climate change. The opportunities to discharge water are limited by the fact that water levels inland (red) are also during ebb-tide below sea level (blue). In 2012 this lead to floods on the 6th of January.

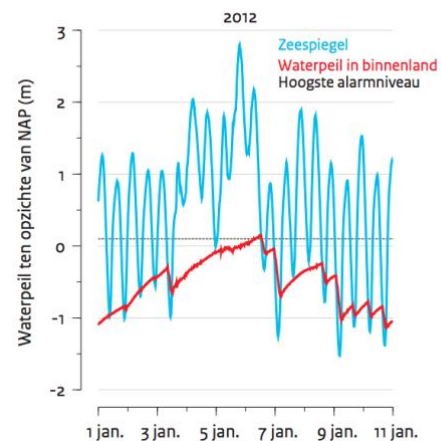


Figure 31 Limited opportunities to discharge water. Source: KNMI (2015)

So, this is the first consequence for the IJsselmeer water level due to climate change. Two overall consequences of climate change for the IJsselmeer are:

1. The water level gets too high in the IJsselmeer. This is a consequence of the fact that the outlet sluices have to discharge more water over a shorter period of time. Since they can only discharge when it is ebb-tide. This is illustrated in Figure 31.
2. The water level in the IJsselmeer gets too low. As a consequence of a longer period of drought, the water level is too low in order to provide drinking water or water for agriculture and salinity becomes larger. The IJsselmeer provides for 30% of the Netherlands drinking water. Plus, fresh water is needed to prevent salt water intrusion in in the canals.

(ter Maat & van Meurs, 2010)

5.4.2. Summer water level

Recently, Rijkswaterstaat allows the water level in summer to fluctuate between an upper and lower limit of -0,10 m NAP and -0,30 m NAP. So, this water level decision is adjustable and is thus sensitive to policy decisions. These new water levels are agreed upon to last at least until 2050 (Rijkswaterstaat, 2018). However, to make this decision a lot of factors need to be considered and a lot of discussion was needed to agree to it. A couple of years ago the minister Cees Veerman advised to adjust the water level with +1,5 m NAP. He stated that this was necessary to satisfy the need of more fresh water for industry and agriculture. This way the IJsselmeer can function as a large fresh water storage. The IJsselmeer is a very important fresh water storage for a big part of the country. With a view on the future and the expected climate changes, dry summers will be more common. It might not be possible to provide fresh water to the water companies and farmers. Therefore, the IJsselmeer level in summer can be increased to respond to this. However, there are some problems attached to this. In order to achieve this, all pump stations around the IJsselmeer needed to be adjusted. Also, the province of Flevoland has to deal with four times more groundwater. Close to Kampen, the IJssel would rise more than one meter. Those disadvantages entail extraordinary costs that are needed in order to adjust them to a IJsselmeer level of 1,5 meters (Ongering, 2012). The increase of the IJsselmeer level has also a negative effect on the environment and will damage the IJsselmeer area.

However, when the IJsselmeer level decreases to -0,3 m NAP in dry periods, some of the intake points for drinking water cannot function anymore. Pumping stations need to be built to prevent this. On vulnerable locations actions need to be taken to limit damages to foundations as a cause of uneven settling and pile rot. The recreational ships will be limited in their sailing areas in the small lakes around the IJsselmeer. When the decrease reaches -0,4 m NAP the professional sailors will notice limitations and the stability of the surrounding dikes will be in danger (Bos, 2014).

More examples of the IJsselmeer level discussions can be found. This emphasizes the uncertainty of the water level in the future. The disadvantages and advantages of an increase or decrease of the water level in summer are from a wide range while it is still uncertain how the climate will develop exactly. This contributes to the need of having adaptable infrastructure that still needs to function excellent under different water levels. Assets not only have to deal with new extremes, also policy decisions change over time as our perception of safety changes or what we consider an important argument. As the climate becomes more extreme, drought influences the decisions on the IJsselmeer level, but is also unsure how the much the sea level rises and how to anticipate on that factor. So not only the summer water level but also the winter water level is under discussion.

6. Sub-case studies

In this chapter, all five sub-case studies of this research are elaborated. The function and materials of the sub-assets are described. Also, general maintenance tasks are elaborated. The sub-cases are described in the following sequence: dam, motorway, outlet sluices, ship locks and bridges.

6.1 The Dam

The Afsluitdijk needs to protect the land against a water level that occurs during a storm with a chance of 1/10.000 per year at the Waddenzee. The core of the dam consists mainly of sand, clay and boulders armored with placed block revetments on both the sea and the lake side. In the Figure 32 a cross section is given for the dam (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009).

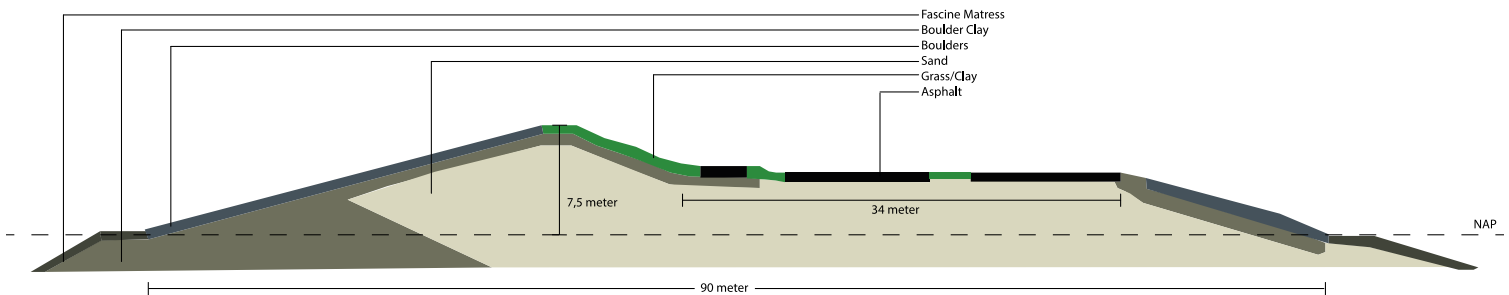


Figure 32 Cross section of the dam. Source: own figure

The dam has an average width of 90 meters. On average the dam is up to a level of +7,5 m NAP but this can fluctuate. At some locations, it goes up to +10 m. The dam itself is higher. There are two motorways with a width of 11 meters and a bicycle path. The total width of the two motorways and the path is around 34 meters. Below the water level (NAP) the dam has a 'zinkwerk' to prevent the boulders to be washed away by the water. This particular zinkwerk is in this case called fascine mattress. On top of the fascine mattress there is a rock support berm (also called toe berm) to support the slope protection. The

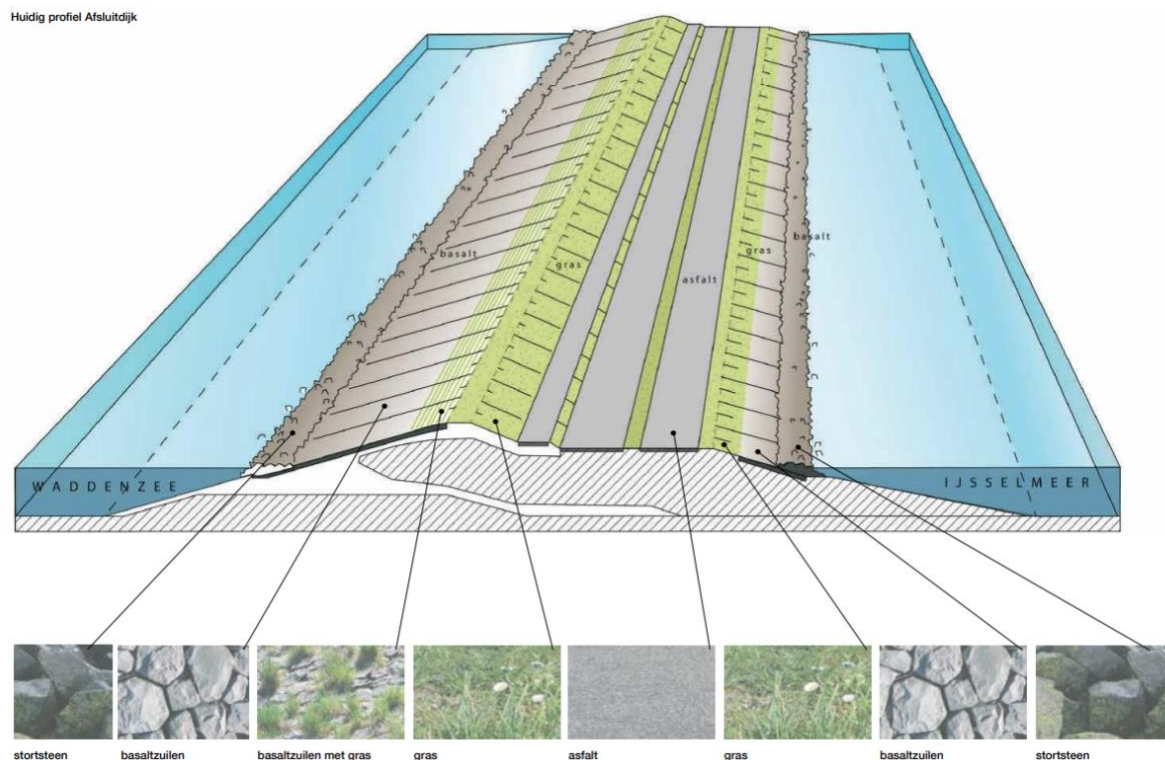


Figure 33 Current materials Afsluitdijk. Source: Rijkswaterstaat (2015)

slope protection consists of a placed rock revetment consisting of natural placed basalt columns. This form of the dam is the same across the largest part of the dam. There are some exceptions. Around the nodes and the stretch from Kornwerderzand to the main land of Friesland. This part has a berm around the main water level. In Figure 33 the materials of the dam are shown. The dam is according to the structure of a classic seawall profile (Dutch term: klassiek zeedijkprofiel) and is very representative for other dams and dikes in the Netherlands. Also, the basalt columns on the outside slope are very characteristic. A typical classic sea dike is characterized by a steep lower seaward slope and a gentle upper seaward slope, sometimes with a horizontal berm in between. The crest width is small and inner slope is steep. (Rijkswaterstaat, 2015).

In the Netherlands, we have 3.700 kilometers flood defense systems. Some of these are natural defenses like dunes, but there are also 1.500 built defenses like dikes, dams, weirs, grounds and storm surge barriers.

6.1.1. Maintenance

The dam can be divided in the following asset parts that are maintained the following way:

❖ Dike revetment

The dike revetment protects the structure of the dam. The land fill berm is part of the dike revetment and protects the dike under normal circumstances. This is a berm of stones that needs to be maintained every 20-30 years. Due to waves, they can be washed away or the stones can sink in to the soil due to lowering down of the soil. The dike revetment is made of basalt boulders. To lock the basalt boulders and provide maximum strength, small stones are added. Due to waves or settling of material those little stones can be washed out and need to be inserted between the basalt boulders every 15 years. The basalt boulders itself can also be washed away or break due to big waves and storms, absence of little stones, big plants that grow between the boulders and push them out or geotechnical changes. Therefore, when necessary new boulders need to be placed. Sometimes a big part is done at once, sometimes local areas are maintained. Also logs bigger than 3 cm are removed to prevent pushing out of the boulders by plants.

Nowadays a thing we can experience in the Netherlands is crossing ice. This is the consequence of strong winds after a period of frost. Lakes freeze and the wind blows the ice sheets towards the dam or the sheets can be pushed over the dams. The ice blocks can damage the dams. The lakes have to be frozen, which takes a couple of consecutive days to freeze. When the sheets begin to melt, strong winds can blow them towards the dike. So, ice slides over the dike revetment. The land fill berm loses some stones that are pushed above but that only happens to a few stones. Ice days are only of influence on the IJsselmeer side since a frozen sea is not considered a treat anymore. Salt water in combination with stronger waves and current make it very unlikely the Waddenzee will freeze.

❖ Structure

The structure of the dam consists of boulder clay and sand over the whole profile of the dam. This cannot be maintained.

❖ Fascine mattress

This prevents stones of the land fill berm and other stones to sink into the soil. This can erode because it is already there for a long time and is replaced when necessary. Same goes for the toe construction. This is a vertical termination made of poles. The poles can erode and when necessary they need to be replaced.

❖ Foreland

This is the shoal area before the dam that can mitigate strong waves. Due to storms at the Waddenzee it can erode. This can be maintained by adding new sand or stones. Also, some gullies close to the dam are monitored. The gullies can cause instability of the dam and slip of revetment. This is caused by changes in water flow. Stones are added when the gullies become too close to the dam.

❖ Inner slope

This is the grass slope at the inner part of the dam. This absorbs water when waves are overtopping. This is maintained by mowing of the grass.

After a big storm a general inspection is done. This is on average every 5 years. Also at the start of the storm season (1st of September) a big inspection is done to make sure the dam is in perfect condition to deal with storms.

6.2 Motorway

On the Afsluitdijk lays a motorway, the A7. This is a 32 kilometers long road with a speed limit of 130 km/h and 19.500 vehicles per day. The inner berm of the Afsluitdijk was designed to allow a railway connection if needed in the future. Before 1972 there was only a two-lane road with a bicycle path on the side. In 1972, the motorway is renovated and the motorway became a four-lane road. In order to be able to fit this, the bicycle path needed to be removed, and the railway connection was out of the picture. This is still the current situation: the motorway has not changed much the past years. In the Figure 34 below (Overzicht Wegverhardingen op de Afsluitdijk, 1972) a cross section is shown motorways structure and different layers. There are differences in distances between the cross sections of the roads, due to side roads and extra lanes in case of an emergency. Also in the turn, the locks and monument the road differs. The Figure 34 below shows the cross section of the road present in most situations on the Afsluitdijk.

Motorway (see Figure 34):

- ❖ First layer of the road is a big layer of concrete of 18 cm thickness
- ❖ Above a gravel asphalt layer
- ❖ The top coat is a nonporous asphalt layer (DAB)

Bicycle path:

- ❖ The bicycle path is funded with a sand bed
- ❖ Above a gravel asphalt layer

	Dicht asfaltbeton - DAB.		Gebeukte cementbeton.
	Open asfaltbeton.		Betonpuifundering.
	Grind asfaltbeton.		Hoogovenslakken.
	Gepetreeerde steenslag.		Natuursteen.
	Zandcementstabilisatie.		Zand.
	Zandasfaltstabilisatie.		Gestabiliseerde klei.
	Cementbeton.		

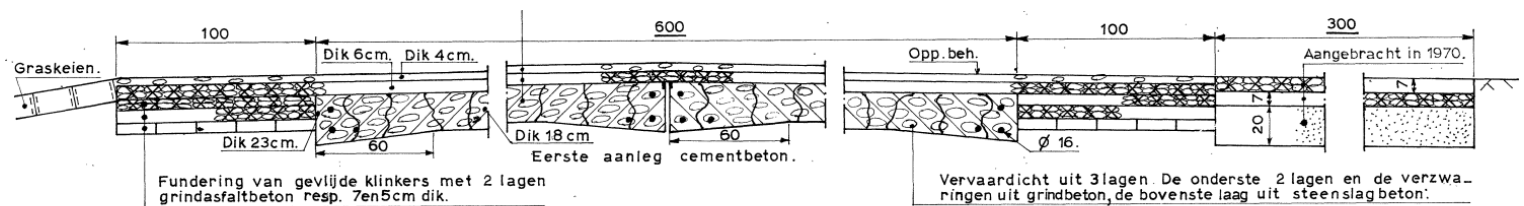


Figure 34 Cross section motorway. Source: overzicht wegverharding Afsluitdijk (1972)

In this research, only the main assets are covered, so the bicycle path is not included. The motorway differs in two aspects from most roads in the Netherlands. Firstly, the motorway on the Afsluitdijk is made of a nonporous asphalt layer (DAB). It is unsure why DAB was preferred over ZOAB in 1972. It might be because of the fact that the Afsluitdijk is close to the sea and wave overtopping of sea water is allowed (in small amounts). Salt water can damage the porous asphalt. DAB knows two disadvantages. The first disadvantage of DAB is that it reflects more sounds which makes it undesirable in quiet or urban environments. The second disadvantage is that water cannot sink into the ground. This last disadvantage causes more traffic since people are driving slower because of the bad sight. Normally Rijkswaterstaat builds roads with an open asphalt layer (ZOAB), this is because the rainfall can sink away better in the ground. An advantage for DAB is the lower construction costs and the longer life span. DAB is very rare in the Netherlands, 90-95% of all motorways in the Netherlands is made of ZOAB asphalt (Rijkswaterstaat, 2014). In the new design is also chosen for DAB.

Secondly, the form of the motorway is different than other motorways in the Netherlands. In order to be able for water to flow quickly off the road, the road surfaces are steeper, this is called a double roof profile (Dutch term: dubbeldakprofiel). This was necessary because the motorway has to endure wave overtopping and the water cannot sink in to the closed asphalt layer. In the Figure 35 a schematic overview of this is given. For road traffic this can be inconvenient when changing lanes since the effect is noticeable when driving a vehicle. When there were only two lanes this was not an issue since the cars did not change lanes, but when it became a four-lane motorway this became an issue.

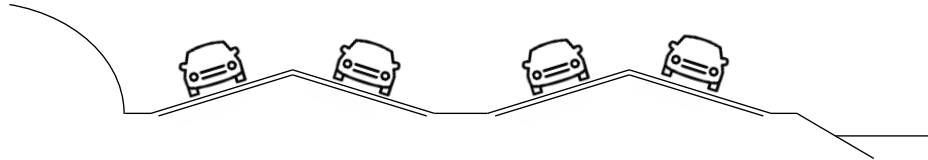


Figure 35 Double roof profile. Source: own figure

Rainwater drainage is very important in this motorway because of the closed asphalt layer and the wave overtopping. The rainwater drainages exist of gully tops that collect the water and discharge it to the IJsselmeer. The gully tops are below the pavement and are not linked to the sewer.

6.2.1. Maintenance

The motorway can be divided in the following asset parts that are maintained the following way:

❖ Asphalt layer

Non-porous asphalt layer. This exists of an upper, intermediate and lower layer. The asphalt layer has theoretically a life time of 18 years and needs to be replaced. But most of the time it is only replaced when there is budget and time are available. The upper layer is replaced and sometimes also the intermediate layer. Also, parts of the road can be replaced. Beforehand several tests are done to determine the problems. Problems are raveling, but this is mainly with ZOAB, holes, cracks, rutting. The right lane is always more damaged since most road users use the right lane the more often.

❖ Concrete layer

This is the foundation of the road and is maintained every 36 years.

❖ Rain water drainage system

This takes care of the drainage of water to the IJsselmeer. The gully tops are replaced when necessary together with the asphalt. The gully tops can be clogged with sand and water stays on the motorway. They can also break since it is a small concrete tube. When that happens, sand can be flushed away from under the road to the IJsselmeer and create a big hole under the road. So, the maintenance exists of unclogging and replace tubes.

❖ Berm

The berm is made of grass with concrete tiles that is next and in between the road. The berm is mowed by the maintainer.

❖ Groundwork

Sand below the foundation, no maintenance is done.

❖ Lightning, signs and guard rail

All these parts combined are guiding the traffic over the road. The guard rail is covered up with zinc paint to prevent the rail from rusting. The salty environment causes faster rusting.

6.3 Outlet Sluices

The outlet sluices are built in the period from 1927-1932. The sluices at Kornwerderzand are two groups with each five discharge channels, this can be seen in Figure 36. Both groups have their own control room. In Den Oever there are three groups with each five discharge channels. The cross section of each outlet sluice has a flow profile of a width of 12 meter and a height of 6,90 meter (Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017). The towers with the lifting mechanisms are the monument designed by the architect Willem Dudok



Figure 36 Photograph of the outlet sluices of Kornwerderzand. Source: Houdt (2011)

(Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009). In Figure 36 the original drawings are shown of the outlet sluices of Kornwerderzand (Houdt, 2011).

The sluices have two functions: first to drain when there is a surplus of water in the IJsselmeer to the Waddenzee. This is only possible when the water level in the Waddenzee is lower than the water level in the IJsselmeer and is therefore only possible when it is ebb-tide. This is a very important function since the water level of the IJsselmeer is leading for other outlet sluices or water defenses in the areas around the IJsselmeer. Lots of functions close the IJsselmeer are dependent to the limited fluctuations of water level at the IJsselmeer. But when the water in the Waddenzee is at a higher level at the IJsselmeer, the sluices have a water defense function and are part of the primary water defense system.

The outlet sluice complexes at Kornwerderzand and Den Oever differ in some parts. They have a different foundation due to a different geographic location and subsoil characteristics. The sluices at Den Oever have a shallow foundation while the sluices at Kornwerderzand are founded on poles. Also, the wave loads are different between the two complexes. However, constructively they are very much the same. The structure is a concrete floor reinforced with steel, with brickwork above. This carries the pillars that carry the car deck and lifting towers (Rijkswaterstaat Directie Sluizen en Stuwen, 1987). Every sluice has two steel slides. The steel slides are applied at the side of the Waddenzee and are 16 meters apart. The slides are connected to the counter weights and can move up and down in the lifting towers. The counter weights and the slides are connected by steel cables (Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1989). The total of 25 slides weight 2065 tons, 40 ton per slide and have a total paint surface of 26.040 m² (Stenvert, 2015). Each lifting tower consists of two separate lifting towers, north and south. The lifting towers have founded concrete walls that are 28 cm thick (Arcadis, 2016). The sluices discharge 14 billion m³ water per year to the Waddenzee. The sluices can discharge water when there is a difference of more than five centimeters between the two sides. Discharging can happen twice a day, when it is ebb-tide for 3 to 4 hours (Stenvert, 2015).

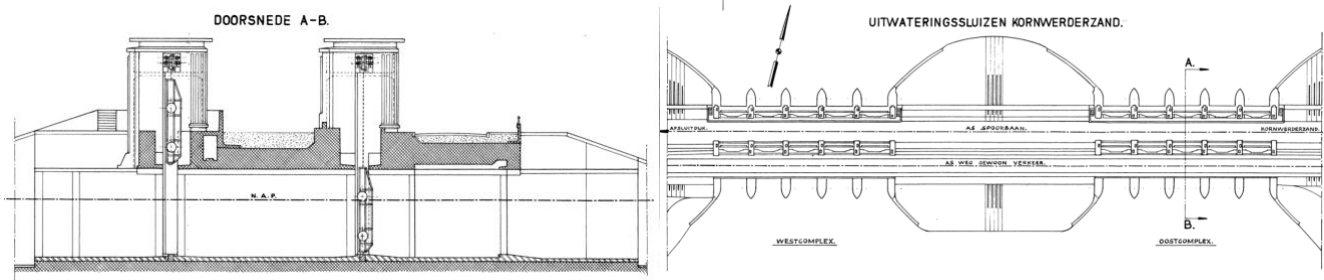


Figure 37 Original details. Source: Areal tekeningen spuicomplexen (1930)

Except for the big architectural value of the Stevin and Lorentz sluices, the Lorentz sluices are a comparable variant for other outlet sluices in the Netherlands since the materials are mostly the same. In Figure 37 the original details of the Outlet Sluices are shown (Areaal tekeningen spuicomplexen, 1930).

6.3.1. Maintenance

The outlet sluices can be divided in the following asset parts that are maintained the following way:

❖ Steel gates

When the gates are closed, they prevent in and out flow of water through the discharge channels. The gates need a new coating every 15-20 years and this is influenced by weather impacts like humidity and UV radiation. Ice can also damage the coating on the gates and also complicates to discharge water. Humidity and solar radiation do not increase significantly, so this coating does not erode faster in the future. When the gates are closed mussels and water plants can attach to the gates. Therefore, they change every month northern and southern gate. After a month, all mussels fall of and the gate is cleaned again. This is necessary otherwise the gates become too heavy.

❖ Lifting mechanisms

Mechanisms that move the steel gates up and down. Parts are replaced in the 50s (steel cables and contra weights) Gear boxes are original. Every eight weeks the maintainer checks the machines.

❖ Lifting towers

Housing of lifting mechanisms. They are made of concrete and need maintenance every 30 to 40 years and in between when necessary. Corrosion could occur due to chloride penetration or CO₂ penetration.

❖ Foundation

Shallow foundation and foundation on poles of wood. This is not possible to maintain since the poles are deep in the soil. When you want to inspect them they can be damaged, so therefore they are not inspected and maintained.

❖ Concrete structure

Needs maintenance every 30 to 40 years and in between when necessary. Corrosion could occur due to chloride penetration or CO₂ penetration. The discharge channels are also made of concrete. Lots of water with sediment flows through the channels so lots of mechanical wear occurs. The channels used to be checked every 12-13 years (every year two channels) and it was repaired. This does not happen anymore and was in 2004 done for the last time. This extensive maintenance technique was considered old fashioned and because Rijkswaterstaat outsources the maintenance of the outlet sluices the contractor did not do it anymore and the knowledge was lost. But Rijkswaterstaat recognizes now that losing this knowledge is a problem and starts checking the channels regularly again.

❖ Concrete plate and rocks (Dutch term: stortebed)

The water flow scours the soil around the object and makes it instable. The water that is discharged has a lot of power. The concrete plate spreads the water flow and decreases the velocity. Every half a year the gullies around the sluices are checked and if needed more stones are added. This is periodically tons of stones that are 1000+ kilogram. This could result that too much soil is washed away and the structure becomes unstable.

6.4 Ship Locks

The ship locks at Den Oever and Kornwerderzand vessels can pass the ship locks for commercial shipping and recreational shipping. At Kornwerderzand there are two passages and at Den Oever there is one passage. So, in total there are three passages for ships. In Den Oever, the ship lock is less occupied. The complexes are both part of the primary water defense. On both complexes, there are historical military defenses, the Kazematten. Also, different buildings are present for maintenance and control of the locks. The locks themselves are also marked as a monument (Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017). All three of the locks are built between 1927 and 1932.

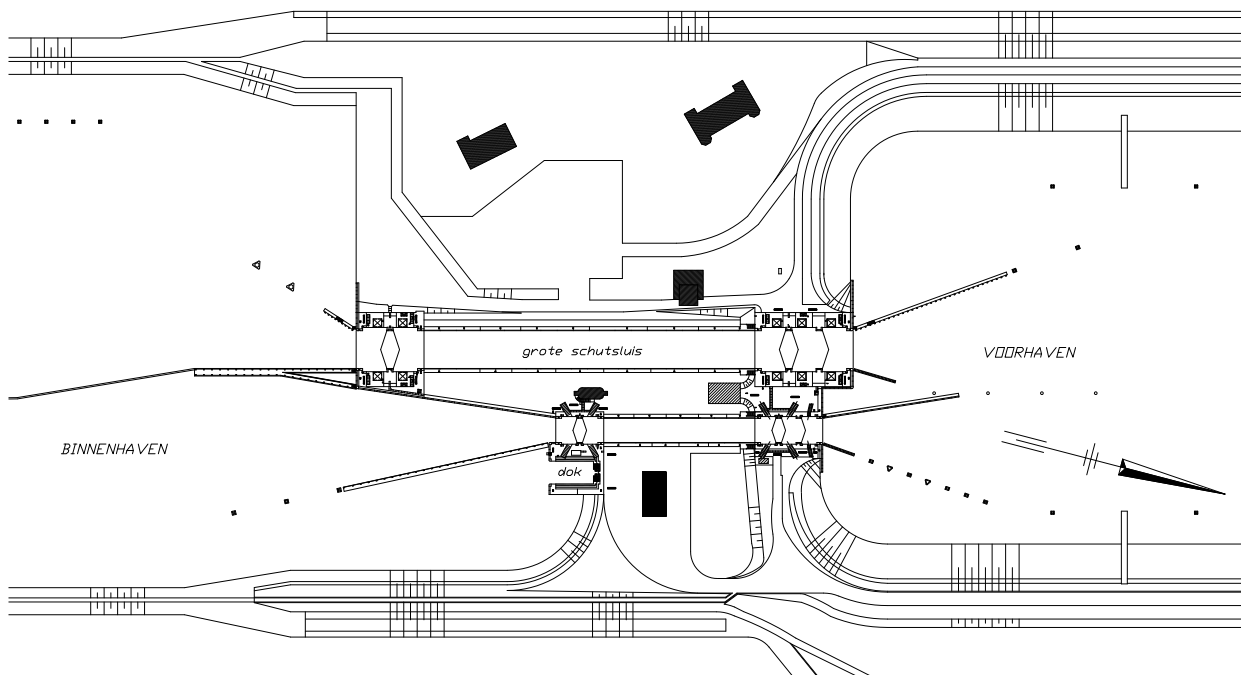


Figure 38 Ship locks Kornwerderzand. Source: Directie IJsselmeergebied (1997)

In both big locks the steel lock doors are moved by door actuators on a panama wheel that is driven by a smaller gear by an electrical engine. The lock buildings are of founded concrete, same for the cellars of the lock gates. Both lock complexes have at the south side (IJsselmeer-side) an inner port and on the north side (Waddenzee-side) an out port and outer harbor. All three locks have a lock chamber with the same structure and a concrete floor. (Stenvert, 2015). Both locks are designed as double water defense locks, which is very common for structural sea defenses in the Netherlands to increase reliability. The water level of the Waddenzee can be higher but also lower than the IJsselmeer level. So, there needs to be water protection from both sides, which means there are on both sides two pairs of doors needed. All doors at the high-water level are flood doors so you can close the lock when the water levels are the same height on both sides. The doors of the locks are miter gates which are common for locks. The ship locks at Kornwerderzand have storm surge doors on the Waddenzee side. The big lock has steel doors and the small lock has hard wood storm surge doors. The lock at Den Oever does not need storm surge doors because it has a compartment. Both lock chambers are made of concrete. The operating mechanism for canal-locks gates are panama wheels. The locks are for a big part comparable to the Noordersluis in IJmuiden, except for the operating mechanisms (Stenvert, 2015).

So, in Kornwerderzand there is big lock and a small lock. The small one has a width of 9 meters and a length of 70 meters and used to be for fishing ships, but is nowadays mostly used for recreational shipping. The big one has a width of 14 meters and a length of 142 meters. In Kornwerderzand the locks are founded on 11.000 piles with a length of 12 meter. See Figure 38 for an overview of the locks of Kornwerderzand (Directie IJsselmeergebied, 1997). The lock used to be operated manually, but in 1969-1970 they were converted to electrical operation. To make this possible it was needed to build door actuators and control cellars (Stenvert, 2015). The big lock got new walls in 2000 since they were affected.

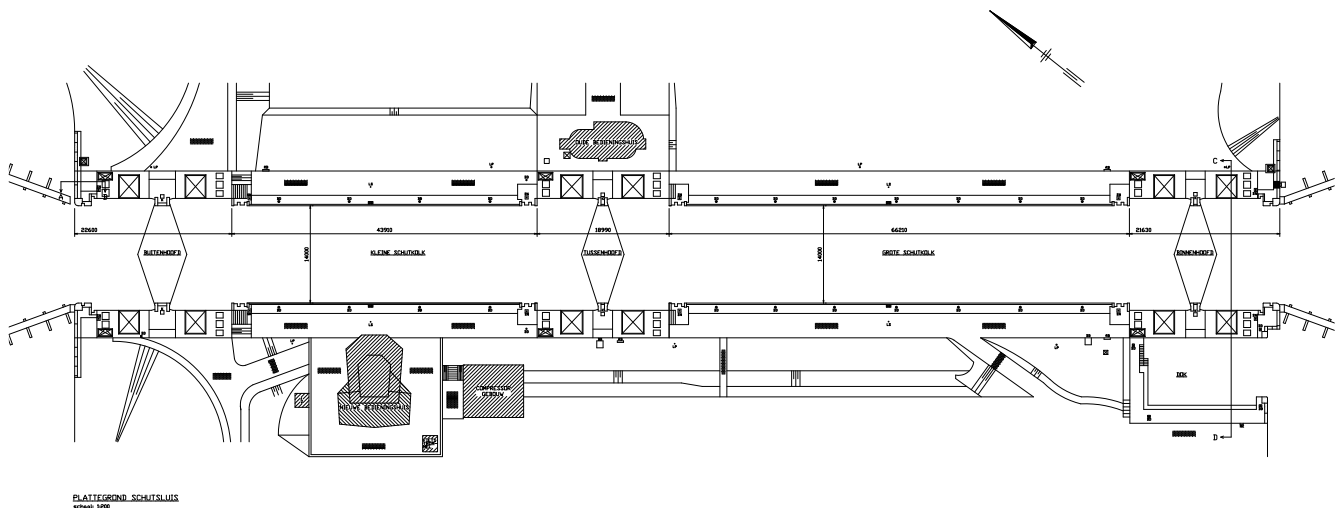


Figure 39 Ship locks Den Oever. Source: Directie IJsselmeergebied (1997)

At Den Oever the lock has a width of 14 meters and is divided between two lock chambers with a length of 57 meters and 79 meters. See Figure 39 (Directie IJsselmeergebied, 1997). In Den Oever the locks are founded on steel, since the sandbank was strong enough.

6.4.1. Maintenance

The ship locks can be divided in the following asset parts that are maintained the following way:

❖ Lock doors

Steel and hard wood doors that can open and close the boat lock. Due to weather influences the coating can erode and needs to be coated every 20-25 years. Well maintained doors can last for 50-70 years.

❖ Lock filling and emptying system

Needs to fill the lock with water and empty it. This happens under free decay. Maintenance happens regularly every eight weeks maintainer checks machines.

❖ Lock chamber

Concrete tank that differs in water level. Maintained as every concrete structure; every 30-40 years and in between when necessary. The lock chamber also needs to be cleaned and inspected since mussels and sludge can make the lock chamber contaminated.

❖ Operation mechanism

Mechanism to control the ship locks. Mainly replacing of camera's that are broken because of weather impacts and wear.

❖ Ports and access channels

Access channels for ships. They need coating every 20-25 years because the coating can erode due to weather influences. Or when there is a collision damage this need to be repaired.

❖ Foundation

Poles and shallow foundation. No maintenance is possible on the foundation

6.5 Bridges

The Afsluitdijk has on Kornwerderzand and Den Oever both movable bridges. The bridges are double swing bridges with a transit width of 2 times 15,74 meter. The design team decided to make swing bridges, since bascule bridges could be a target point for artillery. In Figure 40 and 41 one of the bridges is shown opened and closed.



Figure 40 Afsluitdijk bridges closed for ships (Kalma, 2018)



Figure 41 Afsluitdijk bridges opened for ships (Kalma, 2018)

The bridges are part of the motorway have two primary functions:

1. Passing road traffic
2. Passing waterway traffic

The date of manufacturing differs per bridge. In Kornwerderzand the north bridge is of 1973 and the south bridge is renovated in 2006. In Den Oever the north bridge is of 1973 and the south bridge of 1976. The bridges at Kornwerderzand span the outer harbor of the Lorentz locks and the bridges at Den Oever span the out harbor of the Stevin locks. (Ruiter, 2017). Swing bridges are not influenced by wind. Bascule bridges are and can only function when the wind power is below 8 ($<20,8\text{m/s}$). Between the bridges and the ship locks is an inner port where ships can wait for passage of the bridge or entering the lock. Control of the bridges and locks is done by servers and matched with shipping traffic. However, road traffic has priority when it is busy. When lots of cars are waiting for the bridge to close, it will close even if not all ships have passed the locks. (Witteveen + Bos, 2016). Figure 42 an illustration for the passage of the ships when the bridges are closed for cars. Both bridge complexes exist of two bridges with pillars and land abutments. On the side of the dam there are control rooms. The passage width is almost 16 meters, which makes the bridges in need of a length of 46 meters. Both bridges need to be opened at the same time, so there is a big space apart from them needed (the length of a bridge apart) (Stenvert, 2015). The land abutments are built in the same phase as the sluices and locks. They are built of founded concrete. The ascending parts are coated with granite. The construction of the abutments and piles is still the original, except for a few spots that are renovated. However, the steel turn bridges are relatively new, since they were severely damaged during WWII. In Figure 43 some technical drawings are shown of the bridges. The control room is still original, only on top of the building some things are changed in 1969. The bridges are powered by electrical engines and gears. The bridge decks are all made of steel with a wear layer of 8 mm and epoxy. The south bridge in Kornwerderzand is newer and can handle heavier traffic. All other three bridges are at the end of their life span.

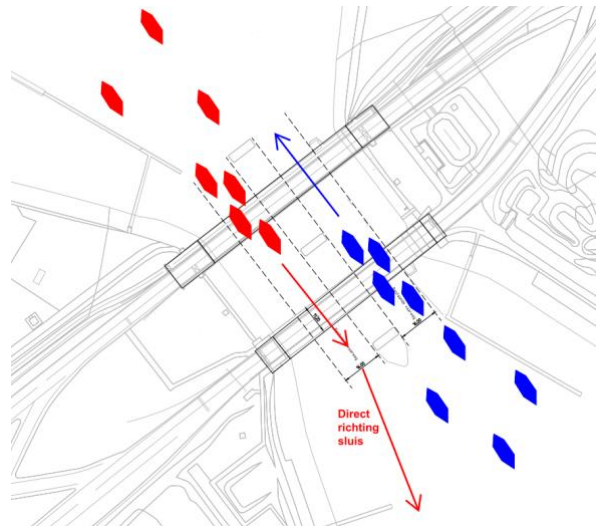


Figure 42 Ship passages. Source: Witteveen + Bos (2016)

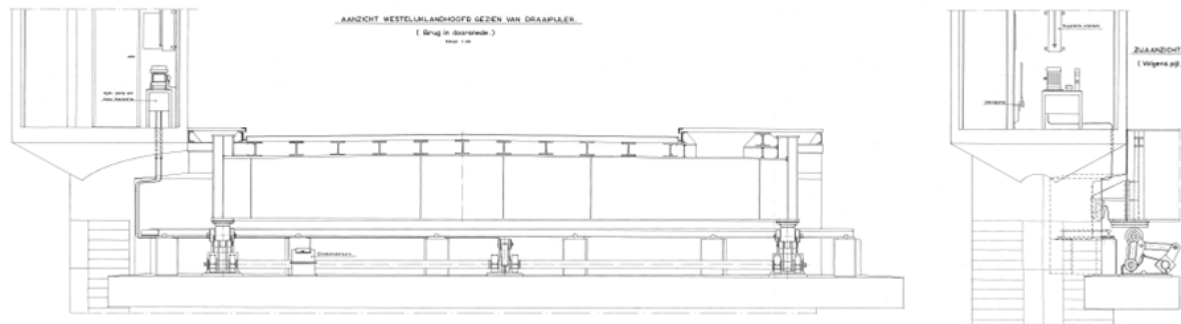


Figure 43 Technical drawings. Source: Rijkswaterstaat (2016)

The bridges have many faults and are often causing long traffic. Especially during hot weather the bridges material expands and contracts which makes the bridge unable to fit in the closed position. Due to these many faults, the bridges require continuous cooling during warm weather. In 2017 an automatic cooling mechanism is installed. When the outside temperature reaches a certain level, mechanism turns on and cools the bridges with salty water from the IJsselmeer. Sweet water is not available from the control station. The salty water is expected to cause corrosion, which decreases the lifespan of the bridge.

6.5.1. Maintenance

The bridges can be divided in the following asset parts that are maintained the following way:

❖ Bridge deck

Parts that swing to open and close the bridge. The bridge deck is very sensitive to high temperatures. The bridge deck becomes longer. Several options are available to prevent this. First the bridge needs to be adjusted to local circumstances by making more space between the parts. The bridge can also be cooled by water from underneath. This is salt water and is bad for the steel. The bridge can also warp due to high temperature. The upper layer, epoxy, gets warmer by the sun radiation, so the top side becomes longer and the bottom side stays shorter. This happens mainly in April, when the water is still cold under the bridge and there is the biggest temperature difference. Another thing that happens during high temperature is a problem with the traffic supports. The heavier traffic needs a different setting of traffic supports. So, the bridge needs to be properly adjusted to local circumstances. Heavier traffic also causes fatigue cracks that need to be repaired. When this is repaired, the bridge needs new adjustments to local circumstances. If this is not adjusted again, it makes warping worse. The bridge deck can also deform sideways due to high temperatures. Steel on the south side is more in the sun and warms up quicker. Also caused in combination with wrong welding during construction. Therefore, the south side of the bridge deck is painted white.

❖ Operating mechanism

Turning mechanism. Common mechanical wear and fatigue. An extra gearbox is available at location to quickly replace when necessary. The operating mechanism is very sensitive for the emergency stop. This can be damaged when the bridge has to stop very sudden.

❖ Foundation

Land abutments and concrete pillars. Due to settling, the land abutments slowly move forwards, which makes the support tighter. Therefore, the bridge again needs to be adjusted to local circumstances.

❖ Electrical installations

Switches, barriers, signs for cars and boats etc. Switches or safety circuits can fail due to pollution, animals or randomly. Therefore, they are checked every 8 weeks and they are replaced 5 years ago and up to date.

6.6 Adaptability between 1932 and now

Over the past 85 years the Afsluitdijk has had some adjustments that were necessary to function better or to guarantee optimal water safety. For the five sub-assets, they are shortly described below:

Dam

For the dike in general is calculated how much wave overtopping the inner grass slope could have before the dam would be damaged and lower the capacity of the dike. On the basis of those calculations is determined that the Afsluitdijk can handle a certain level of wave overtopping without damaging the inner slope. In this case, adaptability is the assessment of strength of the dam that was not included in the original model of 1932. Secondly, the part between Kornwerderzand and the Frisian coast is strengthened. This section was first supervised by the province of Friesland and was in a different way included in dike reinforcement. Between Kornwerderzand and the Frisian coast was enough space to strengthen the dam.

Motorway

The motorway is renewed in 1972 since it was necessary to switch from a two-lane road to a four-lane road. The rainwater drainage system is probably also replaced that time but this is uncertain since all data is very badly reported the past years. There is no documentation about the rain water drainage system and Rijkswaterstaat or the maintainers do not know where the drainage systems are exactly situated. So, for the rain water drainage system there is a lack of knowledge about the situation. When the experts assess the rain water system with the help of the method, this lack of knowledge affects their ability to assess the impacts. This means that probably a lot of uncertainties will rise about the current rain water drainage system since the experts simply do not know.

Outlet sluices

In the original outlet sluices were automatic miter gates that could open and close automatically due to flood and ebb-tide. After some time, the miter gates turned out too weak and were removed or not used any more. In the walls was a squared hole left that influenced the water flow in a negative way. Bulkheads are placed to improve water flow through the channels. For the outlet sluices the sea level rise over the years is managed by introducing stepped water management (Dutch term: getrapt keren). In the outlet sluices are two gates: one on the north side and one on the south side. In the original design of 1932 both gates could function as a water barrier individually. Due to sea level rise the pressure on the gates became too strong. This is solved by making portholes in the northern gates. When both gates are closed, there is also water between the gates since the portholes make it possible to flow water between them. By doing this the southern gates can take the water pressure and the northern gates take the wave pressure. The total load is divided between the two gates.

Ship locks

In the ship locks was the same problem with sea level rise and also here water pressure needed to be reduced. This is done in a different way. At the ship locks it is literally stepped. They achieved this by making the water level in the sluice chamber higher. This lowers the water level difference between the decay of the Waddenzee to the IJsselmeer and thus lowers the water pressure on the doors. The structure did not change much, this is adaptive management. In Den Oever this was easier since all the doors were already equipped with levelling systems. In Kornwerderzand the levelling systems needed to be added because there are flood gates.

Bridges

The bridges have a long history of problems due to temperature differences. To mitigate those problems sprinklers are added. The sprinklers are adjusted in a way that when the temperature reaches a certain height, they automatically switch on. In April, the sprinklers are most needed since the temperature differences between the bridge deck and the water are the biggest. The remarkable problem that has occurred is that sometimes the sprinklers switch on during the day, while it freezes during the night. This means the water can freeze on the bridge deck causing a dangerous and slippery road for the users. Also, the south side of the bridges is painted white to mitigate the heating of solar radiation. In Figure 40 and 41 is visible that one side of the bridges is painted white. This used to be green.

Overall can be said that the main area of concern of the 1932 design was water safety. This was necessary because when the original design was built, no safety norms were developed yet and when safety norms were eventually formulated, the Afsluitdijk fell short. The stepped water management, dike reinforcement and portholes in the steel gates were all adaptive measurements in the design to meet the later formulated safety demands. Policy has had a big impact on how we used the Afsluitdijk but also climate change played a part.

7. Method Step 1: 1932 design

In this chapter, the first step of the method is applied to the Afsluitdijk design of 1932 and climate effects that are expected to happen around the year of 2085 in the W_H scenario of the KNMI. So, this is before maintenance plans. All possible and theoretical problems are highlighted. This is based on the knowledge of experts. First is explained how information is gathered from the experts. In section 7.2 all concrete asset parts are assessed in combination with CO_2 content in the air. After this all the sub-assets are assessed. A table is given with the appointed problems and an explanation. The sub-assets are dealt with in the following sequence: dam, motorway, outlet sluices, ship locks and bridges.

7.1 Results from the interviews

To appoint uncertainties in infrastructural assets due to climate change a model is developed. This is elaborated in Chapter 3. The model works by dividing climate change impacts and assets in smaller pieces. Those parameters are combined and experts assess all combinations of parameters separately. This is done by means of interviews. The Afsluitdijk is used as a case study and consists of five sub-assets that need to be assessed. Those are the dam, motorway, outlet sluices, ship locks and bridges. Per sub-asset one or two interviews are conducted. This is a total of nine interviews. Staff of Rijkswaterstaat is interviewed that is involved in the Afsluitdijk project or have been involved. Thus, they have knowledge and experience of the relevant asset. They know all the ins and outs of the asset and can give detailed information on the combinations of the method that are assessed. The Afsluitdijk is being rebuilt which means a lot of people are actively calculating and organizing the renovations, people have ready and sound knowledge that is in depth. This was convenient, since the method asks for specific and detailed knowledge of the asset parts.

The format of the interviews is based on the following principle:

1. General information about the asset's maintenance tasks is asked. This is asked for the asset in general but also by asset part. Discussed are e.g. the duration of the lifetime, maintenance tasks, causes for common failures and what further emerges from the conversation. This is needed to gain insight in what entails normal maintenance, get feeling with the object and explore what common faults are.
2. After this general maintenance information, the method is applied. The method is converted to a table. A matrix is created and every box can be discussed separately. An example of the interviews can be found in Appendix I. As described in chapter 3, the method can distinguish uncertainties in the form of problems or opportunities. In this first application of the method is focused on the possible problems.

On average, it took around one hour per interview to discuss all aspects. During the interviews, no information is given on the method itself. This was not necessary to explain since the goal of the interview was to test the method. With the help of the matrix all interviewees were able to understand aim of the interview and focus on what the impacts are on infrastructural assets due to climate change in the W_H scenario in 2085. So, the interviewees were not told that the key question was actually the method. The interviewees shared their information on the expected climate change impacts on infrastructure which was based on their own knowledge and experience. Those interviews are recorded and later transcripts are made of the conversations. The transcriptions can be found in Appendix II. It is not possible to make a transcription of every word spoken. Sometimes the conversation skipped from one subject to another and not everything that was discussed was of importance for the research. This means the transcripts are not literally the words spoken but have a certain level of interpretation. Afterwards the interviews were not sent to be checked again by the interviewees to see if everything is interpreted the right way. The interpretation of the interviews is also part of the research. If an expert was unsure about the happening of a certain problem or said it was theoretically possible but not very likely, this was still indicated as a problem even though the expert is not sure. When the expert is not sure it means more research should be performed on the uncertainty and it has to be officially determined if it will be a problem or not.

In principle, the method is comparable to a risk analysis. The experts assess all combinations and they judge whether the appointed combination of parameters if that combination can be an uncertainty in 2085. This is based on their current thinking process with the current requirements and norms in their minds. So, the information that is received from the experts is their estimation that is based on their current framework. This assessment by experts offers guidance in appointing uncertainties but what the experts say is not necessarily a given fact. The method can this way appoint problems areas that need further research since there is an uncertain aspect and that is why the interviews are needed in spite of the fact that the experts provide different information.

The results of the interviews are shown in the form of tables. Those are the same tables that were presented to the experts, but now they are filled in. The uncertainties that were indicated by the experts are numbered and further explained on the page after the table. Also, a short explanation is given on how the rest of the boxes were assessed. All sub assets are separately elaborated upon but when multiple interviews were conducted per asset, those are combined. This means that a total of five tables is filled in, one for every sub-asset. Looking at the total method, this can be seen as the first box, where an analysis is done on current assets before maintenance plans to identify uncertainties. This is shown in Figure 44.

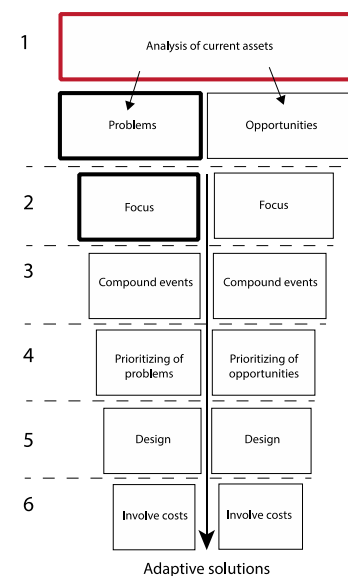


Figure 44 Total method. Source: own figure

In the climate change impacts are the *High water level* and *Low water level* distinguished. When the method is applied to a certain asset, the High water level and Low water level can be appointed to adjacent rivers, lakes and canals. In this case study those climate change impacts refer to the IJsselmeer. The impacts are further on referred to as *High IJsselmeer level* and *Low IJsselmeer level*.

Another climate change impact that was distinguished is the CO₂ content in the atmosphere that can influence concrete according to (Stewart, Wang, & Nguyen, 2011). The Afsluitdijk has a lot of concrete parts that are present in all sub-assets. The assessment of those asset parts in combination with a higher CO₂ content are assessed all at once. This is convenient since all part are constructed the same way at the same time. This is done in the next section 7.2.

7.2 CO₂ content in the air and concrete

At the Afsluitdijk a lot of concrete parts are present at the different infrastructural assets. Since all concrete parts are built in the same time and the same manner, those will be discussed for the Afsluitdijk in this section at once. According to literature (Stewart, Wang, & Nguyen, 2011), an increase of CO₂ content in the air leads to faster deterioration of concrete. The Afsluitdijk has a lot of concrete parts and concrete foundations that all experience the same effect of climate change. The following information is provided by Joost Gulikers: an expert on the durability of concrete. The transcription of this interview can be found in Appendix II-3.

Normally concrete is designed to function for a period of 100 years. For the design of the Afsluitdijk this was never specified. For the Afsluitdijk minimal maintenance is undertaken and only when it is really necessary. This is often combined with other maintenance tasks otherwise there will be a lot of traffic hindrance.

Reinforcing bar corrosion happens often with the consequence of coverage that breaks off. The reinforcement bars start rusting and expand. This is often caused by execution errors and leaking joints that are not repaired. To solve this, cathodic protection is placed. This can control the corrosion of a metal surface by making it the cathode of an electrochemical cell. This connects the metal to be protected to a more easily corroded sacrificial metal to act as anode. The sacrificial metal then corrodes instead of the protected metal. The effect can also be realized by using permanent solar panels that changes the potential of the metal compared to the surroundings. A higher CO₂ concentration will increase the diffusion of CO₂ in the concrete causing carbonation which results in a lower pH level and results in a higher corrosion. A higher CO₂ concentration causes a higher diffusion rate into the concrete. Potentially this endangers the life time of the concrete. However, the Afsluitdijk is situated in a wet, chloride rich environment (salt sea water + de-icing salt). The impact on the lifetime of concrete by chloride is bigger than the impact of CO₂. Therefore, the lifetime of the concrete is not impacted by CO₂ but chloride is the determining factor. The coverage ratio was already high for the Afsluitdijk's concrete. The coverage ratio is the thickness of the concrete layer between the surface and reinforcement steel. The Afsluitdijk was designed for a chloride rich environment and therefore CO₂ intrusion is not an issue. However, this degradation process is also influenced by temperature. When the temperature is 10 degrees higher the intrusion process is accelerated by a factor two and the corrosion process is also accelerated. If the average temperature is two degrees warmer you will notice a somewhat faster degradation but this will not a big issue. Therefore, all concrete asset parts in combination with CO₂ content in the air are not appointed as an uncertainty.

In the following sections the effects of climate change are combined with the sub-assets. The sub-asset is divided in asset parts and separately assessed in combination with the climate change effect. CO₂ content only has an effect on concrete and is therefore not included in the table and is already assessed.

7.3 Dam

Current dam design of 1932 in combination with climate change effects. Based on the interviews of Eric Regeling en Emiel Boerma (Appendix II-1 and II-7).

	Heat waves	High IJsselmeer level	Rain Showers	Average sea level	Average sea level rise + storms	Hail	Drought	Low IJsselmeer level
Dike revetment	<i>Neglectable effects due to temperature differences</i>	1. Dike revetment has to endure stronger waves	<i>No effect</i>	<i>Wave overtopping will occur sooner than overflow of dam</i>	2. Dike revetment has to endure stronger waves	<i>No effect</i>	<i>No effect</i>	<i>No effect</i>
Structure								
Fascine mattress								
Foreland	<i>Under water</i>	<i>Only IJsselmeerside</i>	<i>Under water</i>	3. Waves are less slowed down		<i>Under water</i>	<i>Under water</i>	<i>Only IJsselmeerside</i>
Inner slope	<i>Damage grass indirectly</i>	<i>Only IJsselmeerside</i>	<i>Damage grass indirectly</i>	<i>Wave overtopping occurs only during storms</i>	4. Stronger waves overtop the dike and damage grass on inner slope	<i>Damage grass indirectly</i>	5. Grass slope dies or loses strength	<i>Only IJsselmeerside</i>

Table 2 Indicated problems of climate scenario W_H on the dam in 2085. Source: own table

7.3.1 Explanation of Table 2

The structure, fascine mattress are robust asset parts and are not affected by any climate effect. Those asset parts are not discussed any further. The rest of the asset parts are discussed per asset part what the impact of climate change is. Heat waves, rain showers, hail and a low IJsselmeer level are not directly affecting the dam and no problems are indicated in the table. Heat waves influence none of the materials of the dam. Only big temperature differences can cause damages to stones, but the basalt type of stones is almost immune to this. This effect is limited and it is not likely that this will change in the future. The foreland is below water level and is not affected by air temperature. The inner slope is sensitive to heat and this is often in combination with drought. Drought is the main reason the inner slope is damaged, so the problem is marked in that box.

The land fill berm will be less damaged due to medium storms when the sea level rises. The higher the water level, the less forces on the land fill berm. But this consequence will be negligible. From 1932 until now only once or twice stones in the land fill berm are added. Since the difference is so small and it is rather an advantage than a disadvantage this is not marked as a problem.

Rain showers do not cause direct trouble to the dam, but if the rare scenario occurs of a drought and right after it rain shower, this can damage the grass. Same goes for hail. But since the main cause is drought, those boxes are left empty. Dike revetment and rain showers form no problems.

7.3.2. Climate change impacts

1. Dike revetment has to endure stronger waves: Due to sea level rise the waves become stronger and the dike revetment has to endure more often strong waves. This means that the normal maintenance tasks of the dike revetment have to be carried out more often.
2. Same problem occurs at the IJsselmeer side of the dam.
3. Waves are less slowed down. The function of the foreland before a dike or dam is to slow down and break the waves that approach the dam. When the average sea level is rising, the average depth of the foreland will also be deeper. When waves are in a small layer of water, they can grow less big. When it gets deeper, waves are bigger and less slowed down. This can increase the wave forces on the dam.
4. Stronger waves overtop the dike. Due to stronger waves, the amount of water that overtops the dam can be higher. Also, overtopping will take place more often since the average of the wave height will be higher and more waves manage to reach the height of the dam. This overtop must be covered by the inner slope and grass.
5. Grass dies. Due to drought and high temperatures the grass dies. The combination of grass and clay is stronger than only clay. So, the dike loses strength. When the grass is dead, less water is allowed to over top the dam. A very bad grass slope has happened but not in combination with wave overtopping. In the future, it can be possible to have the combination of bad grass + wave overtopping. Long-term drought in combination with hail or rain showers can damage the grass also, it can wash out.

7.4 Motorway

Current motorway design of 1972 in combination with climate change effects. Based on the interviews of Arjen van der Sligte and Bart Bartelds (Appendix II-4 and II-9)

	Heat waves	High IJsselmeer level	Rain showers	Average Sea level	Average sea level + storms	Hail	Drought	Low IJsselmeer level
Asphalt layer	1. Liquid asphalt, Rutting, Segregation	<i>Water on the road (consequence of rwd system)</i>	<i>Water on the road (consequence of rwd system)</i>		<i>Water on the road (consequence of rwd system)</i>	<i>Asphalt strong enough</i>	<i>Not sensitive to drought</i>	
Concrete layer								
Rain water drainage system	<i>Not sensitive to heat</i>	2. Not able to discharge water to IJsselmeer	3. Water on the road		4. Water on the road due to overtopping	<i>Strong enough to endure hail</i>	<i>Clogging as consequence of washed out (dead) grass</i>	
Berm	<i>Berm fires</i>	<i>Not in contact w. each other</i>	<i>Wash out in combination with dead grass</i>		<i>In combination of dead grass and wave overtopping</i>	<i>Wash out in combination dead grass</i>	5. Grass dies 6. Berm fires	
Groundwork	<i>Not sensitive to heat</i>	7. High ground water level	7. High ground water level		<i>High ground water level</i>	<i>Not in contact w. each other</i>	<i>Not sensitive to drought</i>	
Lightning, signs and guard rail	<i>Not sensitive to heat</i>	<i>Not in contact w. each other</i>	<i>No significant effect</i>		<i>Due to more overtopping guard rail rusts faster (salt water)</i>	<i>Strong enough to endure hail</i>	<i>Not sensitive to drought</i>	

Table 3 Indicated problems of climate scenario W_H on the motorway in 2085. Source: own table

7.4.1 *Explanation of Table 3*

Under the circumstances of a heavy storm and water over topping the dike, the Afsluitdijk is closed. Such extreme circumstances influence the safety of the road users and they can therefore not enter the motorway. In the future those extreme circumstances are becoming more common, which means the Afsluitdijk will be closed more often.

The asphalt layer is mainly sensitive to heat. Other problems that occur to the upper layer of the road are mainly a consequence of a bad functioning rain water drainage system. When this does not work accordingly, water stays on the road and causes dangerous situations for road users. For the Afsluitdijk DAB is used and this type of asphalt is not sensitive to frost damages. Hail, drought and low water levels are of no influence to the motorway.

Average sea level rise does not influence the motorway directly and the concrete layer is a robust asset part that is not influenced by any of the climate impacts. Hail has no direct influence on the motorway. Only in combination with weak grass in the berm this might cause damage. Further on the materials are strong enough to handle hailstones. The berm is most sensitive to drought and the other problems are indirect consequences of this. Ground work is only sensitive to a high ground water level and nothing else. The coating guard rail is sensitive to salt water. Due to more overtopping guard rail rusts faster. Salt water damages the zinc coating faster than fresh (rain) water, and thus might be renovated earlier. However, wave overtopping is not expected to happen very often, so this effect is probably very small and not noted as a possible problem in the future.

7.4.2. *Climate change impacts*

1. Liquid asphalt, rutting, segregation: Asphalt is always a little bit liquid and can deform during high temperatures. This is dangerous for road users since this results in road rutting. It can also become very liquid and causing the motorway sever damage. This is a damage to the motorway and it needs to be repaired when it gets too bad. Segregation is when the filler and betume are seperated from the little stones in the asphalt due to high temperatures. Those little stones sink to the bottom and the betume goes up to the upper layer. When this happens you see grease, shiny stains on the road. This is slippery and thus dangerous for road users.
2. Not able to discharge water to IJsselmeer. The rainwater drainage systems drain their water through tubes to the IJsselmeer. When the IJsselmeer level gets too high in combination with rain, it is no longer possible to drain water to the IJsselmeer. This causes water on the road.
3. Water on the road: when the rainwater drainage system is not capable to drain lots of water during peaks to the IJsselmeer there will be water on the road.
4. Water on the road due to overtopping. Again, the peaks of water become too big and the rainwater system is not capable to drain the water to the IJsselmeer on time. There is a change of water on the road.
5. Grass dies. When there is no rain for a very long time the grass can die or lose strength. When there is a heavy rain shower the grass washes away together with sand and stones. This can cause clogging of the drainage system. When they clog, they can break. When they break water can wash away sand in the groundwork. This can cause a whole in the asphalt.
6. Berm fires: When it is very dry for a long time, grass can catch fire. This can be spontaneous, by cigarette buns or small pieces of glass can be the cause. It is dangerous for road users and causes long traffic.
7. High ground water level: when there is a very heavy rain shower or the IJsselmeer level is very high, the ground water level will also become high. When the water is to close to the sand work, it can become saturated by water. When this happens, the sand becomes liquid and the road becomes instable. This can cause dagamages to the road.

7.5 Outlet sluices

Current outlet sluice design of 1932 in combination with climate change effects. Based on the interviews of Bart Noordman and Menno Rijkers (Appendix II-2 and II-5).

	Heat waves	High IJsselmeer level	Rain Showers	Average sea level	Average sea level + storms	Hail	Drought	Low IJsselmeer level
Steel gates	<i>Partly cause of low IJsselmeer level</i>	1. Not enough time to discharge enough water	<i>Indirect causing high IJsselmeer level</i>	2. Possibilities to discharge water are becoming more limited	<i>Possibilities to discharge water are becoming more limited</i>		<i>Partly cause of low IJsselmeer level</i>	3. Not able to discharge water → salinization
Lifting mechanisms								
Lifting towers								
Foundation								
Concrete structure								
Concrete plate and rocks	<i>Under water</i>	4. More intensive discharge flow	<i>Under water</i>	<i>Used less often</i>	<i>Used less often</i>	<i>Under water</i>	<i>Under water</i>	5. Less intensive discharge flow

Table 4 Indicated problems of climate scenario W_H on the outlet sluices in 2085. Source: own table

7.5.1. Explanation Table 4

Only two asset parts are sensitive to climate change impacts: the steel gates and the concrete plate and rocks that keep the construction stable. The steel gates are also used to indicate the capacity to discharge water. The lifting mechanisms, towers, foundation and concrete structure are not influenced by climate change.

7.5.2. Climate change impacts

1. Not enough time to discharge enough water: When there is a lot of water coming from rivers more water needs to be discharged through the outlet sluices. Since discharging is on the basis of free decay, the time it is possible to do this is dependent on tidal movements of the Waddenzee. In the future, the amount of water that is discharged within the possible time frame will be more and more, which means the capacity will become insufficient.
2. Possibilities to discharge water are becoming more limited: When the sea level is rising, the outlet sluices are still at the same height, which means the possibilities to discharge water under free decay will become smaller and less water can be discharged to the sea. Eventually this means that the capacity of the outlet sluices will become insufficient.
3. Not able to discharge water: When the water level is too low you cannot discharge water otherwise the IJsselmeer level would be too low. The salt water from the outlet locks stays normally in the area of the ship locks. This is because when ships are passing the locks, this brings salt water into the IJsselmeer. When you are not able to discharge it back to the Waddenzee, the salt water spreads over the lake and the chloride content becomes too high. At that moment, you do not have enough water to discharge the salt away effectively. Emergency pumps are inserted to pump the salt water back to the sea. In the wet periods the water management is more difficult, but the salt management gets a lot easier since you automatically discharge a lot of salt water.
4. More intensive discharge flow: When you have a high-water level, you have to discharge more intensively which makes the discharge flow stronger. This might mean that more stones need to be added to keep the scour capacity at the quality. The scour capacity is determined by the concrete plate and rocks that are under the discharge flow. When those are not sufficient a lot of sand is washed away which influences the stability of the total structure of the outlet sluices.
5. Less intensive discharge flow: However, during long periods of a low IJsselmeer level, you have a less intensive discharge flow and do not overload the concrete plate and rocks. It is unsure of the event of 5 and 6 can level each other out. Since it is not sure how much this will change in the future and what the effect will be.

7.6 Ship locks

Current ship lock design of 1932 in combination with climate change effects. Based on the interview with Menno Rijkers (Appendix II-6).

	Heat waves	High IJsselmeer level	Rain Showers	Average sea level	Average sea level + storms	Hail	Drought	Low IJsselmeer level
Lock Door		<i>No problem</i>		1. Not sufficient height	2. Stronger forces by waves on doors			3. Doors break
Lock filling and emptying system		<i>Takes less time to level the ships</i>		<i>Takes more time to level the ships</i>	<i>Takes more time to level the ships</i>			<i>Takes a lot of time to level the ships</i>
Lock chamber		<i>No problem</i>		<i>No problem</i>	<i>No problem</i>			4. Ships cannot load their maximum
Operating mechanism								
Ports and access channels								
Foundation								

Table 5 Indicated problems of climate scenario W_H on the ship locks in 2085. Source: own table

7.6.1. Explanation of Table 5

All the weather influences like heat waves, rain showers, hail and drought have an influence on nature and their environment but not on the asset parts that are present in the ship locks. The lock filling and emptying system will not endure big problems. The only thing that might differ is the time it takes to level the ships that are passing the lock and adjusting the water level in the lock chamber. It depends on the tidal movements if the lock filling and emptying system takes longer or is faster. So, during ebb tide this can be quicker while during flood this takes longer when the IJsselmeer level is low. When the IJsselmeer level is high, it also depends on tidal movement but it is the other way around. So this is very depending on the moment you are looking at it and is not noted as a problem. The operating mechanism, ports and access channels and foundation are not influenced by climate change.

7.6.2. Climate change impacts

1. Not sufficient height: The ship locks are the lowest point in the overall Afsluitdijk. The ship locks and doors are the first point where overflow might occur and are more sensitive to overflow than the dam itself. When the Waddenzee level becomes over +4 NAP, the lock doors and the lock itself cannot stop the high water.
2. Stronger forces by waves on doors: The lock doors have to endure stronger waves than they were designed for. Wave forces can be very powerful and damage the lock doors or even break through.
3. Doors break: When the water level of the IJsselmeer is extremely low, the differences in water level may damage the doors. When the design values are not covered it is unsure what might happen, but at the Afsluitdijk this has not yet been an issue. Theoretical it is possible to overload a lock door but the question is if it is possible to reach such low water levels at the IJsselmeer.
4. Ships cannot load their maximum: The water level in the lock chamber can be so low that ships cannot carry their maximum loads. This results in constraints about the maximum depth of the ships. This means the ship has to do more trips for the same load. This can cause capacity problems at the locks but it is mainly a problem for the skippers. They can transport less goods and thus earn less money. The skippers also prefer a deep lock chamber so they do not have to worry about damage to the bottom of their ships that is caused by touching the ground.

7.7 Bridges

Current bridges design in combination with climate change effects. Based on the interview with Johan den Toom (Appendix II-8).

	Heat waves	High IJsselmeer level	Rain Showers	Average sea level	Average sea level + storms	Hail	Drought	Low water level
Bridge deck	1. Becomes longer, warps 2. Night frost	<i>Bridges are on Waddenzee side</i>	<i>Bridge has no problems with water drainage</i>	<i>Electrical parts will be flooded first</i>	3. Waves hit the bridge deck			<i>Bridges are on Waddenzee side</i>
Operating mechanism	4. Traffic supports are wrong adjusted, when it is warm bridge cannot open or close anymore	<i>Bridges are on Waddenzee side</i>	<i>Not in contact with rain</i>	<i>Electrical parts will be flooded first</i>	5. Damage to operating mechanism due to strong waves			<i>Bridges are on Waddenzee side</i>
Foundation								
Electrical installations		<i>Bridges are on Waddenzee side</i>	<i>Not in contact with rain</i>	6. Electrical parts are flooded	7. Damage to electrical parts due to strong waves			<i>Bridges are on Waddenzee side</i>

Table 6 Indicated problems of climate scenario W_H on the bridges in 2085. Source: own table

7.7.1 Explanation of Table 6

The bridges have two main problems: the biggest one is that the bridge decks are very sensitive to heat. Due to different adjustment problems in combination with warmth, the bridge deck warps or can become longer. The second weakness is in the fact that on the bottom of the bridge deck the electrical parts and operating mechanism are situated, but they are not covered by protective equipment so, waves can reach the systems.

7.7.2. Climate change impacts

1. Deformation of bridge deck. As discussed in the maintenance overview on page XX. Many failure modes are caused by heat. The bridge deck can warp because one side is warmer than the other side due sun warmth. Or the upper side gets warmer due to sun warmth. This happens in particular in April. That time of the year the water under the bridge is still very cold while the upper side gets warmer and makes the bridge extra warped.
2. Night frost. It is possible that it freezes during the night while at daytime the bridge needs cooling. It has happened the past year, since the sprinkler installation is installed. This can cause dangerous situations for road users since ice will form on the bridges and makes the bridge deck slippery.
3. Waves hit the bridge deck. When the waves are becoming higher they can strike against the bridge deck. In extreme cases the bridge deck can be lifted of the pillars. But local damages are more likely. The solution can be to open the bridge during those circumstances. The pillars can use as a breakwater.
4. Traffic supports are wrong adjusted. Due to heavier traffic, the traffic supports are wrongly adjusted. Traffic support have the function to prevent the bridge from tilting sideways when a heavy truck passes the bridge. Over the years the traffic has become more intense and heavier. The traffic supports need to be up to date to this change. When this is not the case the bridge cannot open or close anymore in combination with warm temperatures.
5. Damage to operating mechanism due to strong waves. When strong waves hit the bottom part of the bridge, this can damage the operating mechanism. Waves can be powerful and hit the gear since it is out in the open.
6. Electrical parts are flooded. When the average sea level rises too much, the electrical parts under the bridge can flood since those parts are also not protected. Those electrical parts are not able to be under water. And this can cause a lot of damage. There are a lot of switches that are not water resistant.
7. Damage to electrical parts due to strong waves. Strong waves can also damage the electrical parts by hitting it.

8. Method Step 1: 2020 design

In this chapter, the first step of the method is applied to the Afsluitdijk after maintenance plans. In this chapter is first elaborated in what way the 1932 and the 2020 differ from each other. Per sub-infrastructure asset is described what will change. In section 8.2 all problems that are identified in the 1932 design are described once more, and with the changes between the two designs in mind is determined if the problems are still relevant in 2085. If that is the case, they form the input for the second step of the method.

8.1 New in 2020 design

The Afsluitdijk no longer meets the current safety norms. At the time Lely designed the dike there were no safety norms. The boat locks cannot resist a storm that occurs once in 100-250 years. The dam is not resistant to a storm of once in 1000 years. The legal standard is a storm of once in 10.000th years. This means a renovation is necessary to meet the safety norms. For this research only the technical aspects are explored. Levvel is the contractor consortium that is going to take care of the renovations. Levvel is a collaboration of BAM, Van Oord and Rebel. In order to meet the requirements that are set by Rijkswaterstaat Levvel designed the new model of the Afsluitdijk. These major renovations are discussed per sub-asset.

8.1.1. Dam reinforcement

The dam will be strengthened and heightened. To achieve this the Afsluitdijk will be broader. On the Waddenzee side a new type of revetment is applied. Those are specially designed for the Afsluitdijk: Levvel blocs. The Levvel blocs will be placed between Den Oever and Kornwerderzand on the lower slope. The new typical sea dike profile exists of a higher crest, an upper slope with concrete stone, a berm of asphalt, and a lower slope of Levvel blocs. The Levvel bloc is more efficient in material use and easier to place. The new blocs allow to simply and effectively decrease the wave energy, as far as possible of the crest, which makes it possible to leave the inner slope as it is. The upper slope gets more common concrete blocks. Those blocks are often applied as revetment at dikes in the Netherlands. The most characteristic dike profile is dike section 6. The crest is raised to a level of +9,30 m NAP. The steep slope of the Levvel blocs, makes sure the inner part of the Afsluitdijk does not need big changes. The highest dike section is 8b. The crest will be +9,75 NAP (Levvel, 2017). In Figure 45 the new dike revetment is shown and in Figure 46 a cross section of the new dam. The dike revetment at the Waddenzee side is designed to meet the requirements for at least 100 years. In the future, more wave

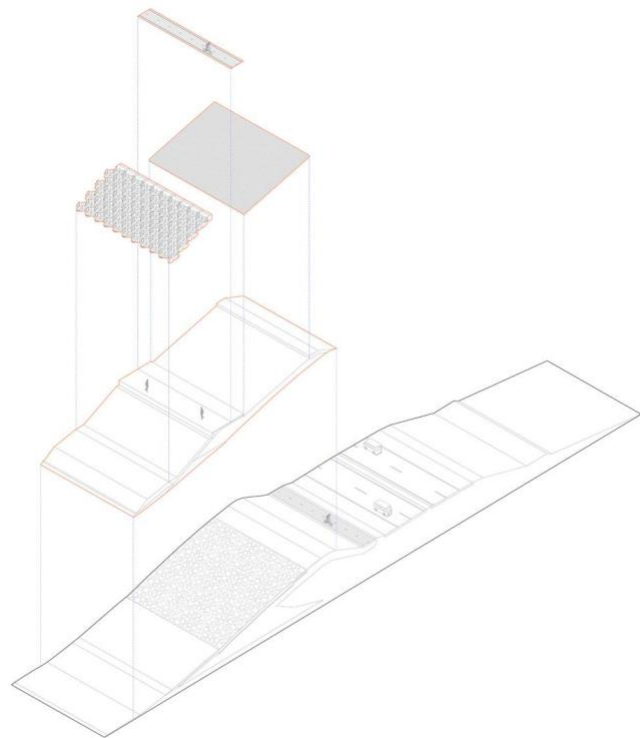


Figure 45 New dike revetment. Source: Levvel (2017)

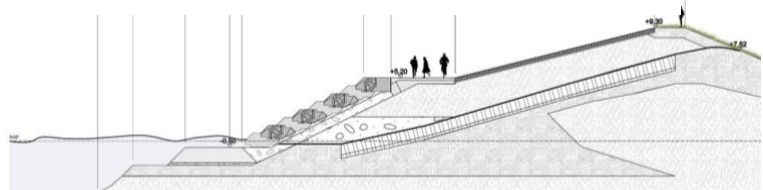


Figure 46 Cross section of new dam. Source: Levvel (2017)

overtopping can be allowed by asphaltting the inner slope. Now 10 liters per second are allowed, but with an asphalted inner slope, 20 liters per second are allowed.

On the IJsselmeer side the same common concrete blocks will be placed. For the IJsselmeer side no regulatory requirements are made. Rijkswaterstaat chose for 1/1000th storm demand. Some parts of the IJsselmeer already meet those requirements and some do not. That part is reinforced. It is expected to meet the demands for at least 50 years according the predictions. No adaptability is included in this adjustment.

In 1932 Lely designed a dam to the north of Den Oever which has the shape of a banana. This was needed since strong wave forces pushed on the discharge sluices and partly the ship locks. It is unsure if the current design of the banana meets the 1/10000 requirement. In order to include the banana in the new calculations of water defense safety, this needs to be determined. The banana has a double function since it also protects the harbor of Den Oever which has a safety requirement of 4/10000th. Levvel decided they want to include the banana in the water safety calculation to protect the harbor and outlet sluices of Den Oever. This means the banana will be reinforced. It will become bigger and stronger to meet the 1/10000th storm requirement.

8.1.2. Motorway

Because the Afsluitdijk undergoes major renovations, it convenient for road users to improve the highway as well at the same time and make it an integral project. This means that in the future little maintenance is needed on the road and therefore less traffic hindrance. This means also that the rain water drainage systems have to be rebuilt. The new system will be stronger than the old one and takes into account more rain and rain showers. Wave overtopping is included in those calculations otherwise the berm could be washed away. The new mid-berm is asphalted. The Afsluitdijk used to have a closed asphalt layer which was exceptional in the Netherlands. However, in the new design this will still be the case. The existing lane width is too small to apply an open asphalt layer and its corresponding bigger adjustments. Furthermore, is the open asphalt layer dangerous for road users in cold temperatures and heavy rain showers. Because the Afsluitdijk has a low traffic intensity, the iciness differs per lane. On open asphalt layers those differences are bigger. This also causes damage faster to the left lanes because of the frozen snow that needs to be removed (de Jong, et al., 2012).

8.1.3. Ship locks

Stepped water management is not sufficient anymore in the future, so a whole new flood lock is built in Kornwerderzand and one in Den Oever. This protects the ship locks during a high water level. This is necessary since the boundaries of adaptive management are reached for the boat locks. Water levels are becoming higher than we can handle in a stepped water management. In both Den Oever and Kornwerderzand are single rolling flood gates built made of steel (Levvel, 2017). In Den Oever the rolling gate is just before the ship lock, in Kornwerderzand the rolling gate is placed before the bridge. This has to do with the fact that Kornwerderzand is appointed as a monumental village.

8.1.4. Bridges

In the renovation project of the Afsluitdijk the bridges are not included, so for the bridges there are no new renovation plans. There are plans to renovate the bridges soon, but those plans are still vague and not developed in detail. This means there is no new design and therefore the bridges are assessed only on their current designs.

8.1.5. Outlet sluices

In the existing lock complex in Den Oever new sluices are built in the intermediate islands. Those spots are suitable to discharge water since at some parts of the Afsluitdijk huge sand banks could block the water but this is not the case in the intermediate islands. This is another chance that is created (not intentionally) that improves adaptability of the old design of 1932. In the land abutments are pumps built. Pumps are added to the water discharge system and improve the capacity. Nowadays water decay is dependent on water levels of the Waddenzee and the IJsselmeer. With pumps, you are always able to discharge water. And a water level difference is no longer needed. This will Den Oever make one of the

biggest water discharge systems of Europe. The water discharge capacity should be sufficient until at least 2050. Per sluice group, four sets of two water proof gates are made. Mechanisms and hydraulic installations are masked by concrete. In closed situation, the gates are not visible, in opened situation they are (Levvel, 2017).

Defense beams that were needed in the early years to protect the outlet sluices from gun shots are no longer needed. At first there was no problem with them, but due to sea level rise the chances of strong waves are increased and this influences the strength of the gates. The defense beams cause a kickback of the waves to the gates and make the wave load stronger. When the beams are not removed, a stronger construction is needed for the gates and this could not be fitted and the space available. Therefore, the beams are removed even though the gates are also replaced.

In the new gates, stronger steel is used and no portholes are made. The northern gates have to function as a water defense autonomically, it is not needed to be controlled by humans but will be still possible if needed. The same adaptability from the past is used, portholes can be added if necessary.

Also new motors and propulsion systems are made. Those are hydraulic cylinders. The reason for this is that it will be more reliable and easier to maintain. This is indirect causing a higher water discharge capability since the availability will be higher.

For all outlet sluices the foundation is strengthened, especially in Kornwerderzand. Den Oever has a shallow foundation, which is stronger and more reliable. In Kornwerderzand the bearing strength was lower and deeper so in 1932 they placed wooden poles. At the moment, no problems have yet occurred, but the poles are already more than 80 years old. Vertical strength will be no problem but horizontal strength is questioned. Therefore, the structure is adjusted by a yoke structure behind it. During a horizontal movement, the yoke can take the load.

8.2 Problems in the 2020 design

Some of the problems that are identified for the design of 1932 in the year 2085 are not a concern in the 2020 model. Problems that are inserted in step 2 are problems that are still occurring after the big renovations of 2020 and there is a chance that climate change still has a negative effect on the infrastructure. Per problem is discussed if it is still a problem in the newest design. The identified problems of 1932 are looked at again, but now as part of the design of 2020. Per problem is explained how the earlier identified problem will behave in the new situation. The red problems are still a risk in the newest design in 2085. Those problems remain uncertain, even after the recent insights in climate change are taken into consideration. In order to have adaptive infrastructure, those identified problems need further research. Looking at the total method this is the second box, where the set of uncertainties is indicated as problems that are still there after maintenance plans. This is shown in Figure 47.

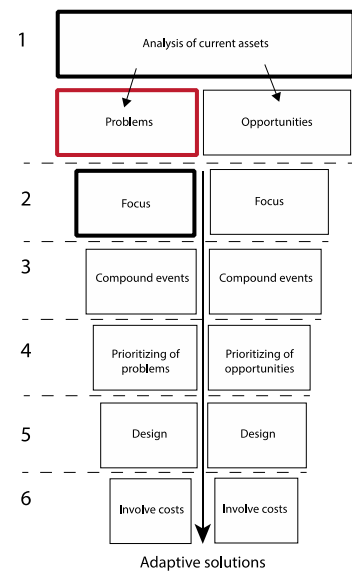


Figure 47 Total method. Source: Own figure

8.2.1. Dam

1. Waddenzee side: dike revetment has to endure stronger waves due to sea level rise. The Levvel blocs weigh 6500 kilo grams and therefore no maintenance is needed. Loose stones are not a problem anymore and the dike revetment is capable of handling heavy waves. Therefore, this problem is not present in 2085 and not included.
2. IJsselmeer side: dike revetment has to endure stronger waves due to sea level rise. Due to more rain and more water in the IJsselmeer the water level will become higher in the IJsselmeer. A higher water level means that higher and stronger waves are present. The IJsselmeer side of the dam has no official safety standards which means it will never be insufficient. Procedurally this is true, but in practice this could result in a problem with the dike revetment.
3. Waves are less slowed down due to sea level rise in the foreland. This is an indirect problem that is causing more wave overtopping. In the 2020 design this will still be a problem.
4. Stronger waves overtop the dike due to sea level rise. In the 2020 design it is allowed to have wave overtopping to a certain level. Those calculations are made on the basis of prospects of sea level rise but as stated before those prospects are never certain. So, this remains a risk. As adaptive measurement, it is possible to asphalt the inner slope and take in more wave overtopping, but this also has a limit and when even more water comes over the dam this will be problem. The Afsluitdijk has to meet the determined safety standard of a storm with the chance of occurring of once in 10.000 years, but the expectations are uncertain which makes the norm adaptive. It might be the case that for example in 30 years, the normative storm happens more frequent than 1 in 10.000 years, which means the safety norm is not sufficient anymore. When the safety standards are not met anymore, the first thing you notice is more wave overtopping.
5. Grass dies due to drought and heat waves. In 2050 the precipitation shortage that is exceeded every ten years will become bigger. When the grass dies this will weaken the overall strength of the dam. In combination with wave overtopping this can be a problem since in the design of 2020 there will still be an inner slope with grass. In the future, this inner slope can be asphalted to take in more wave overtopping and protect the dam. So, this is an adaptive measurement that can be applied in the new design of 2020. When the inner slope is asphalted, the grass is gone and therefore also the problem.

8.2.2. Motorway

1. Liquid asphalt, rutting of asphalt and segregation due to heat waves. In the design of 2020 is asphalt used for the motorway and again it is DAB. Aforementioned three problems are all caused by heat waves effect on asphalt. Those problems will still be a problem in the future.
2. Rain water drainage system is not able to discharge water to IJsselmeer due to high IJsselmeer level in combination with rain or rain showers. In the new design of 2020 pumps are installed to discharge water to the sea and this means that the high water level of the IJsselmeer is much better controllable. But still the possibility to pump water is limited to some point. And there will be a moment when it is not enough.
3. Water on the road due to rain showers. In the design of 2020 a new rain drainage system is designed. For this system is calculated what amount of water it has to process. A normative rain shower is determined by Rijkswaterstaat and the rain water calculations are based on this rain shower. However, those expectations might deviate from what will happen and therefore this remains a risk.
4. Water on the road due to overtopping. The expected amount of water on the road coming from wave overtopping is calculated, but the total sea level rise is very uncertain so this still remains a risk in the design of 2020.
5. Grass dies in berm due to drought and heat waves. The mid-berm is asphalted in the new design. Only the side berms are still made of grass so this problem is decreased and therefore not noted as a problem.
6. Berm fires due to drought and heat waves. In the design of 2020 is no longer a mid-berm of grass, but on the sides, there is still grass. So, berm fires are still a problem in the new design of the Afsluitdijk.
7. High ground water level due to heavy rain showers or high IJsselmeer level. The IJsselmeer water level can be much better controlled but the heavy rain showers are not. In the future, a high ground water level is still a problem since the new build motorway on the same level as the old one.

8.2.3. Outlet Sluices

1. Not enough time to discharge enough water due to high IJsselmeer level. In the future, pumps are installed that can discharge water anytime it is needed. It is calculated to be sufficient until 2050 but 2085 is not guaranteed. Pump capacity is limited to a certain point. Since climate change is very unpredictable, this still is a problem.
2. Possibilities to discharge water are becoming more limited due to sea level rise. Again, pumps are installed that can be used anytime they are needed. But at some point, pumps might not be enough and this is still a problem.
3. Salt intrusion due to low IJsselmeer level. When the water level is too low you cannot discharge water otherwise the IJsselmeer level would be too low and salt intrusion will be a problem. It is determined by law what salt level is allowed in the IJsselmeer. Nowadays emergency pumps are installed to discharge the salty water close to the ship locks back to the sea. However, in the future this problem might be bigger and it is unsure if the emergency pumps are sufficient.
4. More or less intensive discharge flow that can damage the concrete plate and stones before the construction (scour capacity). This is due to a low IJsselmeer level or a high IJsselmeer level. With the pumps in the design of 2020 this water flow can be much better controlled and won't be a problem in the future.

8.2.4. Ship Locks

1. Not sufficient height due to sea level rise. In the new design new flood doors are installed that can take much stronger wave strength and sea level rise. Thus this problem is solved. But indirect this means that in the future the flood doors have to close more often and this affects the shipping. But when it is needed to close the doors the ships won't be on the water anyway since there will be a big storm. Therefore this is not a problem in the new design.
2. Stronger forces by waves on doors due to sea level rise. In the new design new flood doors are installed that can take much stronger wave strength and sea level rise and this will not be a problem in 2085, but again, the shipping will be affected.
3. Doors break due to a low IJsselmeer level. The doors are not reinforced so this might still be a problem in the future.
4. Ships cannot load their maximum due to a low IJsselmeer level. In the future this is still a possible problem for the shipping. This means that more ships have to pass the locks to deliver the same amount of cargo and earn the same money. When more ships need to pass the locks, the capacity of the ship locks can be insufficient and long traffic lanes can occur.

8.2.5. Bridges

The bridges of the Afsluitdijk are not renovated in 2020. In Kornwerderzand the bridges are protected by the new flood doors for sea level rise and strong waves. In Den Oever the flood doors are before the bridges which means those bridges are not protected. There are plans to reinforce the bridges in the future but those are still uncertain. This means that all problems of method 1 are still occurring and can be inserted in method 2.

1. Deformation of bridge deck due to heat waves.
2. Night frost due to heat waves and sprinkler installation
3. Waves hit the bridge deck due to sea level rise and stronger waves.
4. Traffic supports are wrong adjusted due to heat waves.
5. Damage to operating mechanism due to strong waves.
6. Electrical parts are flooded due to sea level rise.
7. Damage to electrical parts due to strong waves.

All the red problems are the uncertainties that might cause damage to the asset in the future and will be inserted in step 2.

8.3 Indicated problems

Those 21 uncertainties are the indicated problems that might affect the infrastructural asset in the future after maintenance plans. Those problems form the input for step 2. Step 2 focusses on minimizing the number of problems that are indicated. Among experts of the same asset the information they gave could be different and they recognized other climate change related problems. The experts have their own framework and are all aware of different risks. This means that every time an interview was conducted different problems were recognized. The outcomes were never identical which means that it is not possible to state that the list of identified problems is complete. The method should be applied more often to determine at what number of interviews no new problems are identified by the experts. Some expert might appoint a problem while another one denies that same problem. The result of this is that knowledge is fragmented between the experts. With the help of the method a first indication is made towards of overview of the problems. Initially the goal was to conduct two interviews per asset. The expectation was that approximately the same outcomes would be given by the experts but this was not the case. This means that more interviews need to be conducted to gain a total overview. However, this was not the goal for this research. The focus was to investigate if it is possible to develop a method that shows how infrastructural assets can be made more adaptive.

So, eventually not for all assets two interviews per asset are conducted and it is not possible to appoint *all* existing risks due to climate change on assets simply because experts do not agree with each other and there is much uncertainty of climate change. With the help of the method, the expert can give a complete overview of all the possible impacts of climate change within his own framework, but this framework differs per expert.

After the application of the method it is clear that Rijkswaterstaat has the knowledge to indicate what the problems due to climate change can be. The outcomes of the interviews show that people know what possible risks can be even though the climate change impacts are not certain in their magnitude.

9. Method Step 2

21 Problems are still marked as a problem in 2085 after maintenance plans and not all can be elaborated in this report. The second step of the method will be elaborated on the basis of two examples. First is explored how the answer can be found to the deforming bridge decks due to heat and secondly, we investigate how the risk of high ground water for the motorway can be solved and if not, what are the steps to take.

9.1 Refinement of problems

In the research methodology in chapter 3 is elaborated that after the identification of problems (step 1) first needs to be determined if in other areas knowledge can be exchanged among engineers (step 2). This means that engineers do not have to think of possible solutions themselves if other experts already researched it. This way they can focus on the problems that lack knowledge in any other area. All 21 identified problems have to be investigated in this second step. In this research, we look at foreign situations. This is the third box of the total method and focusses on the identified problems that lack knowledge that cannot be found elsewhere. This is shown in Figure 48. The following are used in two examples to determine if an example is comparable:

- ❖ A comparable climate situation that is common in the other country and is already happening and not futuristic
- ❖ Comparable infrastructural asset
- ❖ Comparable norms regarding safety and reliability
- ❖ The indicated uncertainty is not a problem in foreign asset or it was a problem that is solved

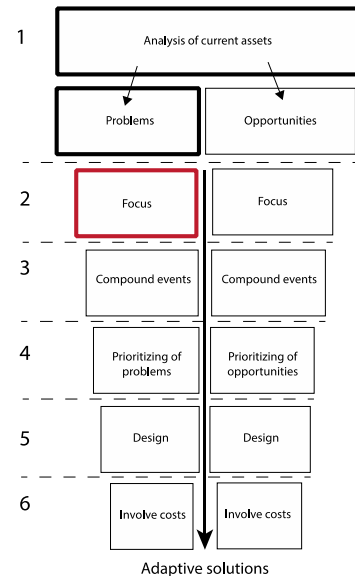


Figure 48 Total method. Source: own figure

In the next two sections to examples are elaborated. In the first example about a bridge, it is possible to appoint a foreign situation that is comparable to the one in 2085 in the Netherlands. Also, the infrastructural asset and the reliability and safety norms are similar to the Dutch situation. Information is given about the example and this is a suggestion to look into.

In the second example about the motorway, it is hard to find a similar climate situation with the same safety and reliability norms. It is explained what this is not comparable and that it might be a problem that needs to be explored by the Dutch engineers themselves.

9.2 Bridge deck example

The first example that is devised is the problem of the deformation of bridge deck due to heat waves. The bridge deck deforms and cannot open or close anymore. Road users or ship traffic cannot pass anymore and this will cause huge delays. The bridges at the Afsluitdijk are bridges made of steel and are swing bridges. They are movable bridges that open and close by rotating with respect to the vertical axis. Bridges are sensitive to high temperatures, which is an extra risk during heat waves or summer days. Not only swing bridges, but also bascule bridges have trouble to function adequately.

- ❖ Climate situation: In the Netherlands, we experience 21 days a year on average with more than 25 degrees. In 2085 this amount will be more than doubled to 48,3 days. In Table 7 this is shown once again. This table is part of the Table 1.

Climate impacts:	1951-1980	1981-2010	2085 W _H
Heat waves	13 days	21 days	48,3 days

Table 7 Climate change impacts that have an effect on the bridge deck. Source: own table

- ❖ Comparable to: The situation of W_H in 2085 with an average of 48,3 days a year with a temperature with more than 25 degrees is comparable to what happens currently in southern Europe. Heat waves are in Spain not an exception. In March, the winter temperature can be more than 25 degrees and this is mostly until September, in some areas October. Sevilla is located in the south and is one of the hottest cities in the world in July and August. Temperatures above 35 degrees are normal and often the temperature reaches 44/45 degrees (Weather Online, 2018). With this in mind the goal is to find examples of steel swing bridges in Spain that do not have problems of a deformed bridge deck due to high temperatures.
- ❖ Comparable infrastructural asset: Valencia Port Swing Bridge

The city of Valencia has under gone lots of development the past years. In the 32nd America's Cup and the Formula 1 Grand Prix of Europa were held there in 2007 and 2008. The competitions were held on a new street circuit in the harbor area of the city. The symbol of this street circuit is the swing bridge. In Figure 49 and 50 the closed and opened Valencia Port Swing Bridge is shown. Originally this was a bascule bridge built in the area of the harbor but due to new urban planning decisions this was put out of use. The original bascule bridge had to be relocated and adapted. The new design of 2007 is made of 95% of the steel structure of the old one and 50% percent of the operating machines. The bridge spans 99,2 meter. The two bridge decks were designed as welded orthotropic steel with 1200 mm thick plates. The main structural system was formed by two lateral beams located between the internal orthotropic deck and the external substructures of the sidewalks (Martinez Calzon & Ladron de Guevara Mendez, 2008).

This bridge is interesting since it is re-used which fits perfectly in the area of this research. With a simple Google search this bridge can be found with sufficient scientific literature that provides the right knowledge to know if this bridge is comparable to the Afsluitdijk bridge. It is re-used and been made adaptive and this is exactly what the Dutch Afsluitdijk bridge also needs. Interesting is to find out how the Spanish engineers made this bridge adaptable to function as a swing bridge instead of a bascule bridge and how this can be applied to the Afsluitdijk bridges. The goal is to re-use the Afsluitdijk bridges as well and make them adaptable to climate change.

By looking at this example can be assumed that it is possible to adjust the Afsluitdijk bridges and knowledge can be exchanged between Dutch and foreign Spanish engineers. The Spanish engineers have done it before and deal with the same climate circumstances and have similar reliability and safety norms. It is likely that Dutch engineers can learn from this example. Therefore, this example can function as a helpful inspiration and minimize the effort the Dutch engineers have to do themselves.



Figure 49 Valencia Port Swing Bridge opened for traffic (MC2 Estudio De Ingenieria , 2017)



Figure 50 Valencia Port Swing Bridge Closed for traffic (MC2 Estudio De Ingenieria , 2017)

9.2 Motorway ground work example

High ground water level due to local rain showers or high IJsselmeer level is an identified possible risk. The ground water level gets too high and makes the ground work saturated by water. This can cause damages to the motorway. This is still a problem in the new design of 2020 since the motorway is built on the same level as the old one. It has not been a problem yet but in future scenarios it is a risk.

- ❖ Climate situation: A high ground water level is caused by a high IJsselmeer level, a local rain shower or a combination of both. In the year of 2085 in the W_H scenario, both climate impacts will be aggravated. The water level will be higher and the amount of days with rain showers are doubled.

Climate impacts:	1951-1980	1981-2010	2085 W_H
High water level	774 mm	851 mm	911 mm
Rain showers	5 days a year	8 days a year	17 days a year

Table 8 Climate change impacts that have an effect on the groundwork of the motorway. Source: own table

- ❖ Comparable to: Several countries in the world experience heavy rain showers, especially in the tropics. However, it is difficult to appoint countries with further similar circumstances. It might be the case that the countries do not see it as a problem or that they have different standards according the quality of their roads. When the motorway is damaged by a high ground water level, it is not broken all of a sudden and is still usable. It might be the case that foreign countries have different safety standards and quality standards. Also, this problem requires a very specific combination of factors which can differ a lot with other countries or even other motorways. Also, the IJsselmeer level is controlled by the outlet sluices and dependent on very specific factors. Since all these specific circumstances are locally very different from others, this problem needs a specific approach.

For this particular case, it is probably not possible to look at foreign situations and exchange knowledge between engineers since the situation is dependent on specific factors. So, for this possible risk the Dutch engineers need to do research themselves. This possible problem remains a risk after foreign situations are explored.

9.3 Specific solutions

Concluding, in some cases it is not possible to look at foreign situations while in other cases it is. If step 2 is applied to all problems, an analysis has to be made per problem. So, all 21 possible problems are analyzed on their similarity to foreign situations. In the example of the bridge deck, foreign knowledge can be found and this can be used. So, this problem can be taken off the list. But the problem of high water level of the motorway is hard to compare due to the specific circumstances. In that case, there are no other areas of knowledge to use and the engineers have to do their own research. New knowledge needs to be developed in order to find solutions. After step 2 no generic solution is possible and every appointed possible problem need a specific solution.

For Rijkswaterstaat this second step is interesting. For them it is convenient to know in advance what uncertainties are already explored in other countries or other areas of knowledge. The process to think of solutions can take a long time. And when a problem actually occurs, probably right at that same time a choice needs to be made on adjusting the infrastructure. When using the method beforehand, solutions are already there when they need to be implemented right away when an identified problem occurs. This second step is an instrument to notice which aspects lack knowledge or experience.

10. Discussion

In this chapter is reflected on the method and its workability. It is elaborated on how to use the method, for whom the method is useful, when to use the method and in which stage of uncertainty to use. At the end of the chapter the importance of the method is explained.

10.1 The method

Climate change is a broad term and involves all types of effects. This makes it hard to appoint specific problems or opportunities for infrastructural assets. A structured approach on how to tackle this problem is lacking so far. The FMEA has similarities to this method. FMEA also divides the assets parts, and tries to gain a complete overview of failure modes. The method that is developed in this research focusses specifically on climate impacts and assesses all combinations of parameters separately in a future scenario. The method makes the wider problem of 'climate change effects on infrastructural assets' easier to manage. First all effects of climate change are explored in a literature study and it is determined what climate change effects have an influence on infrastructure. Those effects form the parameters of the method. The other parameters are the asset that is divided in sub-parts. By dividing the asset in smaller pieces and assessing the impacts of climate change on the parts separately, the otherwise general problem becomes doable. After this systematical approach, a suitable strategy can be developed with the help of the formulated further steps. This method helps the executer to distinguish problems and appoint their causes without being vague. The method helps defining issues of climate adaptation in infrastructures and can lead to concrete solutions. This structured approach gives a clear overview of problem areas of the asset and it shows which climate change impacts cause more problems than others. Most asset owners do know something about climate change effects on their assets, but with the use of this method, all problems are together in one overview and give the user guidance on how to find a fitting solution. The structured approach ensures all aspects are considered since the method combines parameters that would otherwise not have been put together. The structured approach helps the executer to think of all theoretical problems that have not occurred yet but are a possible problem in the future and need to be further explored. After this identification of uncertainties, the uncertainties are filtered. The uncertainties that can be explored elsewhere, for example abroad, are not included anymore and the focus is on the residual uncertainties that lack knowledge from any other field and remain uncertain.

The first two steps of the total method are conducted. However, after these two steps, the method is not completed yet, more actions need to be taken before the infrastructural asset is made adaptable. The other steps are part of the method but not devised in this report. Interdependency needs to be explored and a prioritization of problems has to be done to determine which problems are urgent and which not. With the help of a risk analysis, it can be determined what problems need adaptive solutions and which are not worth the time and money. Those adaptive solutions are dependent on a decision-making process that involves costs. A life cycle analysis can provide guidance in when or how to implement those solutions.

In the following sections is described for what type of asset, for whom, when and how to use the method. Lastly, importance is described.

10.2 For what asset

In this report, the method is applied to the Afsluitdijk but other infrastructural assets in the Netherlands are also suitable. The method is broadly applicable but provides a specific solution to the infrastructural assets that is explored. This is possible because the method itself is also adaptable:

- ❖ When a more detailed exploration of the problems is required, the executer can decide for himself to split the asset up between more asset parts. For this thesis, all sub-infrastructural assets are divided between 4 to 6 asset parts but this can be divided more extensively. Theoretically every bolt and nut can be explored on the effects of climate change. When a group of assets is assessed together, it is better to have more oversight than a detailed analysis. So, for the Afsluitdijk this

level of depth was sufficient, since it exists of five embedded sub-assets. When assessing a group of assets, it is more interesting to see what the interaction between different sub-assets is instead of a detailed analysis. When a single (smaller) asset is examined it is advisable to delve deeper into the technical aspects and explore the asset in a more detailed level. The more specific level can also be obtained by the NEN method. However, this makes the method more time consuming.

- ❖ New developments on research on climate change effects do not make the method useless. Impacts can be added or removed when necessary. This makes the method adjustable to changing circumstances which is convenient in the constant changing climate change effects.

This adaptability ensures that the method can be adapted to any infrastructural asset. However, assets that are an integral system are preferred. For this case study in particular it was difficult to determine hard boundaries in what to involve and what not. For example, the IJsselmeer water level is controlled by the Afsluitdijk outlet sluices and this water level is influenced by climate change. However, the IJsselmeer level itself also has its effect on the environment. Plus, not only the Afsluitdijk's asset are impacted, but also other dikes, pumping stations and many more assets around the IJsselmeer area. It would be better to have an integral system, but this is not possible since the network of assets around the Afsluitdijk are interconnected. The boundary of the system is determined by the identified uncertainties that only directly affect the Afsluitdijk but sometimes this is a grey area. A non-integral system is a system that has a lot of overlap and connections outside the system. This is typical for all large scale infrastructural projects like the Afsluitdijk, so this makes the Afsluitdijk not an ideal case study. However, the interdisciplinary projects are the most interesting and the impacts more important. Therefore, it is necessary to schematize the aspects that need to be included beforehand and determine clear boundaries. This helps the executor to assess the interdisciplinary projects without getting lost in the details. For the Afsluitdijk this was not done which was caused by the fact that the method is developed during the research process and not beforehand.

In a next assessment of a group of assets, the level of detail has to be defined and one must schematize what to include and what not. It might be better to adjust the method by making it more suitable for interdisciplinary projects, since those are most interesting. The focus can be more on interconnections among the sub-assets. This can be done by interviewing experts that know something about at least two of the assets and their interaction.

10.3 For whom

The method can be applied to all sorts of infrastructural assets and this makes the method interesting for all owners of infrastructural assets that are situated in the Netherlands. Asset owners are interested in long-term management strategies. The method is based on climate change impacts that occur in 2085 in the Netherlands. By gaining insight in how climate change affects their assets in the long-term, short term asset management can be adjusted and better, integral decisions can be made. This makes the method highly suitable for Rijkswaterstaat, but also municipalities or other infrastructure operators like Pro rail, Stedin or TenneT and many more asset owners. The *owners* of infrastructural assets will be most interested since they have a long-term view and want to make sustainable decisions for their assets.

Other involved party's like asset managers will benefit less from the method. Asset managers mostly have a maintenance contract for 3 to 5 years. They try to meet the standards of the contract, which lasts no longer than 5 years, so this is a short-term view. Asset managers are not in the same way committed to the asset as the asset owners and have different incentives. The incentive of the asset manager is to earn more money by asking for costly additional work, while the asset owner wants what is best for the asset for the long-term. This is a significant difference in viewpoint. However, a new type of contract is introduced in the construction world, which is also the case in the Afsluitdijk project. This is a DBFM (Design Build Finance Maintain) contract and in the case of the Afsluitdijk, Levvel maintains the Afsluitdijk for 25 years. So, in this particular case also Levvel can benefit from the method since in this case the asset manager also has a longer viewpoint. However, normal performance contracts (Dutch term: prestatiecontract) are mostly used for regular multiannual maintenance. So, for most infrastructural assets the method is not interesting for asset maintainers that have a short-term view.

10.4 When

Authorities like Rijkswaterstaat that procure the contracts, establish consensus on good asset designs by determining certain principles and base their decisions on those principles. Those principles form the basis of the requirements in the contract and the new design has to meet them. The uncertainty of climate change is involved in those principles but Rijkswaterstaat can never be sure if it is enough and has to make certain assumptions. Recent insight shows that the climate is hard to predict. Rijkswaterstaat is unprepared for a situation where climate change effects are more severe than was estimated in their principles. With the use of the method it is possible to think of a design without using principles as well. That area beyond those principles is not involved in the decision-making process yet and the method can give guidance in how to deal with this.

For this first try, the experts only reflected on possible problems of infrastructural assets due to climate change. This resulted in 21 problems for the Afsluitdijk. However, climate change can also bring windfalls or even opportunities. Climate change is usually seen as an event that brings problems. However, it might be time to embrace it and explore if there are any opportunities that might turn out as advantages for infrastructural assets. Analyzing opportunities is also possible with the method and happens in the same manner as the problems but now the impacts are positive relative to the reliability, wear, use and capacity. For example, crossing ice used to be, and still is, a problem for the Afsluitdijk. Especially the dike revetment, gates of the outlet sluices and doors of the ship locks can have hindrance due to ice formation. In the future, this will probably reduce greatly. This reduce of ice days can allow a different design or different management of the gates and doors or less maintenance of dike revetment. Those opportunities can be exploited and the method can distinguish those. So, the method does not only indicate problems, but generates knowledge about uncertainties, good or bad.

10.5 How

The method can be time consuming but this depends mainly on the number of asset parts and the specification of the boundaries. This first application gives insight on the first two steps, which focus on the identification of problems. The other steps that are described in chapter 4 also need to be performed in order to make infrastructural assets more adaptive. The method can be used to determine to what extent the asset needs to be adaptive to unexpected impacts of climate change. This method starts by analyzing what uncertainties are, this was the main focus of this research. The next steps focus on how to make wise decisions that are sensible while taking all possibilities in consideration. Eventually the asset owner can decide what the best strategy is for adaptability. Those last steps are not elaborated upon in this research but need to be performed in order to give an answer to the research question.

The amount of detailed information that can be gathered from the interviews is big and a lot to process. This was partly caused by the size of the case study and partly by the lack of strict system boundaries. So, the number of interviews was small. A potential implication of this is that not all possible problems are indicated and a complete overview of possible problems is not gained. In total nine interviews are conducted. Looking back, the Afsluitdijk was too big to explore within the time given to perform this research. Sharper boundaries should have been formulated in the beginning. This was not done since the method was developed as the research proceeded and gradually shaped during the process. In the beginning, this first application was not as strict as it should have been and in the next application more focus should be on determining which aspects are included and which are not. However, the outcomes are still representable since the experts were perfectly capable of assessing the combination of parameters and reflect on them. The overview of uncertainties is just not complete. To apply the method more rigorously, more interviews should be conducted. When more interviews are conducted, there will be a point where no new problems arise. What the number of interviews is should be determined in further research.

Furthermore, the first step is dependent on the knowledge of experts. Those experts have their own framework of what might be problems for the asset. Problems can be theoretically possible, but have not occurred yet. This makes it hard for experts to estimate the impact of the climate change effects. Every time an expert is interviewed, different information comes up. The executer has to have in mind that the

method provides a complete overview but within the framework of the expert. This means every time an interview is conducted different data can be obtained. Despite the interviewees gave contradictory answers the main focus was to indicate what areas lack knowledge and what are the focus points for the asset owner. In a next application of the method more interviews have to be conducted per asset. This provides a more complete overview and gives a more certain indication on the areas that lack knowledge.

Another difficulty that was encountered while conducting the interviews is that it can be necessary that more experts have to be consulted to discuss all asset parts. An example for this is concrete. Concrete is a specific asset part that is very common among civil infrastructures. This means that it would be wiser to consult a concrete expert for all the concrete parts and not ask all experts separately for concrete even though this is described in the research methodology. In the research, it made more sense to interview an expert separately since he knows more of concrete than the other experts because it is his specialty. This decision made the results more reliable and should also be performed next time when applying the method. Concluding, it might be hard to subdivide an asset to an expert. Overlapping expertise areas can result in a different distribution of assets and interviews that is more convenient. This differs per infrastructural asset and it is not possible to make general rules for subdivision of the assets to interviewees. The executor has to do that by thinking practically and logically about the specific asset. If for certain problem or asset part a specific expert is available, for example concrete, use them.

This research focusses on the impacts of climate change on infrastructural assets and identifies several possible problems. Sometimes it is hard to estimate if an uncertainty is caused by climate change or regular wear of the asset. This can be a grey area. Most of the time the cause for a problem can be appointed but sometimes it is combination of both. In those circumstances, the uncertainty is still identified as a problem. An example of this is rutting asphalt of the motorway. Rutting is caused by cars and is a consequence of regular wear. However, high temperatures speed up the rutting process and the motorway wears out faster. So, this is a combination of both but still included in the research.

10.6 Importance

Rijkswaterstaat has to deal with all types of problems in big interdisciplinary projects, not only due to climate change. The organization is inclined to address those problems by cutting them in smaller projects and try to solve them. However, in large projects like the Afsluitdijk it is better to have an integral approach and solution since all aspects are interconnected and influence one another. The method provides this integral viewpoint and allows the user to make long-term decisions while taking the uncertainties of climate change into account. This way can be anticipated on the effects of climate change while making design or management decisions for the asset. The capability of project management and asset owners to identify and assess uncertainties is necessary for effective decision making (Koleczko, 2012).

Uncertainty as a result of climate change is an unavoidable factor in making long-term management and design decisions infrastructural projects. With the help of the method, those uncertainties are identified, assessed and labelled. Especially in complex projects like the Afsluitdijk there are a lot of uncertainties in forecasting outcomes. By using the method, choices in design and management of the infrastructural asset can be made with confidence. This does not guarantee that the outcome of a risky decision will be optimal. But the decision will be rational in the face of uncertainty and that the repeated application of the method will on the long run be more beneficial (Schultz, 2010).

Koleczko (2012) argues that 'project managers should consider a wider set of variables when considering the impacts of risks and unpredictable future events including the behavioral responses of agents, the role of ownership and control, and the complex relationship between bounded rationality, experience and judgement' p. 76. The method that is developed in this thesis contributes to the need of considering a wider set of variables in the form of exploring more impacts beyond this bounded rationality and experience by creating scenarios for the combinations that are not that obvious for experts yet.

11. Conclusion

In this chapter, the conclusions from the research work are described. In section 11.1 the answer to the research question is given. The method that is developed is explained on the basis of the sub-questions. After this description, the conclusion is given on the case study and thus for Rijkswaterstaat. In section 11.4 the overall result is given of the method. Lastly the recommendations are given for further research on this topic and how the method could be implemented if those recommendations are further explored.

11.1 Answer research question

This research tries to find an answer to the following research question:

*How can existing **infrastructural asset designs** in the Netherlands be **adapted** to anticipated current and future expected **climate change effects**?*

The concept of adaptability is hard to define. In order to be adaptive, the solutions are specific and can be design oriented or management oriented. Therefore, there is no integral answer to all infrastructural asset and their uncertainties. This complicates the answer to the question on how to make infrastructural assets adaptable. The best option is to develop a step-by-step method that focuses on the uncertainties. This method is based on dividing the asset parts and climate change effects of the W_H scenario of the KNMI in 2085 into smaller variables and combining all parameters and assess all combinations separately in a structured way. This method is helpful for policy makers that own the assets. The method exists of six steps of which two are applied to a case study and carried out. Three sub-questions can explain the methods:

1. *What are the expected impacts of climate change on built infrastructural assets in the Netherlands?*

In the first steps the uncertainties are identified on infrastructural assets. This is done by dividing the climate change effects and asset in smaller parts and combining them. An expert reflects on this combination of parameters. This is done before and after maintenance plans. Before maintenance plans shows us what the problems for infrastructural assets will be if climate change is not taken into consideration. The exploration on the asset after maintenance plans tells us what the effects are of climate change even though well-informed design choices are made and what risks remain. In these maintenance plans climate change is taken into consideration. It is interesting to explore what problems remain unsure even though the most recent climate developments are included in the design. So, the first step of the method describes the problems on infrastructural assets that are caused by the anticipated climate change effects by using the climate change scenario W_H of the KNMI in 2085. The year 2085 is chosen since there was more data available and ready to use compared to the year 2100. The outcome is a set of problems that negatively influence the reliability, the use and the safety of the infrastructural asset. The problems of the recently renovated assets form the input for the second step of the method.

2. *What are the problems that need to be adapted to the impacts of climate change in future assets?*

The second step is based on the idea that some identified problems are not that complicated or knowledge can be acquired somewhere else. In this case study is explored that some climate change effects are already occurring in other countries and knowledge can be exchanged between the foreign engineers and Dutch engineers on how to prevent or solve certain problems. In some circumstances, this can provide inspiration for solutions and decrease the number of identified problems of the first step of the method. This decrease allows the executor to focus on the problems that need real further research since little is known about these issues yet.

3. *What steps can be taken to adapt infrastructural assets to those problems?*

The outcome of the first two steps is a set of identified problems of which it is unsure how they will influence the asset in the future. Little information is available on the exact course of the problems: not by experts nor foreign engineers. So, after those two steps more steps need to be taken in order to

reach adaptability. First the interdependency of uncertainties and compound events of uncertainties need to be investigated. This is the third step. In the fourth step a qualitative risk analysis has to be done to determine what problems are worth solving and which are not. In the fifth step the actual solutions for adaptive design or management are devised. In the last step, the costs of the adaptive solutions are included. After this can be decided to implement the solutions and when to implement them. So, the outcome of the first two steps is a set of identified problems and the four last steps need to be executed as well but this is not done in this thesis.

This method is mainly interesting for asset owners that determine the policy of the asset, like Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat decides on what will happen to the assets and sets up rules, guidelines and norms. Rijkswaterstaat benefits of a good prospect of the influence of climate change on their assets and makes decisions on the basis of those prospects. Those decisions are executed by other parties, in this case study Levvel. Rijkswaterstaat has the expertise to assess the effects of climate change on their assets. However, this knowledge is fragmented within the organization. There is a need to bring this knowledge in a structured way together. This is where this method can be a helpful tool. Currently no methods are used at Rijkswaterstaat to assess the impacts of climate change and adaptability of infrastructural assets while this is needed to make sustainable decisions that are integrally intertwined with all infrastructural assets. Rijkswaterstaat already knows that the climate is changing and tries to prepare their assets for it. So, they are aware of the risks of the changing climate and they see that there is a need to be well prepared to those changes. This method is the next step in actively taking climate change into consideration in the long-term decision-making process of design and management of complex infrastructural assets. This is done in an organized way that combines the knowledge that is fragmented among team members and raise awareness about the various shapes climate change is affecting the infrastructural assets.

11.2 Conclusion case study

To validate the method, it is applied to a case study: De Afsluitdijk. The Afsluitdijk is chosen because of its long history and the very different assets which are available on this sea dam. The Afsluitdijk and its assets currently undergo a major renovation. The design before maintenance plans is indicated as the 1932 model and the renovated design as the 2020 model. For the members of the Afsluitdijk team this report provides an overview of all possible risks described by their own experts.

In the 1932 design of the Afsluitdijk no adaptability or climate change is taken into consideration in the design. For the 2020 design, new safety norms are the main reason for a reinforced Afsluitdijk and climate change is taken into consideration in the calculations. The outcomes of the first step of the method on the two designs is therefore different, some problems that used to be a problem in the 1932 design are solved in the 2020 design. The new dike revetment, and crest increase, flood doors and pumps take away the biggest water safety issues and water surplus issues that were the most acute problems in the 1932 design. In the 1932 design, outlet sluices and ship locks were vulnerable to strong waves and wave overtopping. Also, the outlet sluices were no longer sufficient to discharge the extra IJsselmeer water due to climate change. Those problems are carefully considered by Rijkswaterstaat and solved until a certain level. However, looking at recent climate reports that show the uncertainties in sea level predictions, this might not be enough. Despite the calculations of Rijkswaterstaat not all problems that are caused by a surplus of water are not a risk anymore in the future. Sea level rise and stronger waves remain uncertain and therefore the reliability of the assets too. The capacity of the outlet sluices increased by pumps and new outlet sluices under gravity discharge but is limited until some point. The potential increase of the controlled IJsselmeer level remains uncertain. The motorway is also sensitive to a surplus of water. Water on the road due to wave overtopping and rain showers, or water from a high ground water are both still a potential problem.

Rijkswaterstaat recognizes the surplus of water problems in the new design. However, another big effect of climate change takes place in the summer. Drought, heat waves and a low water level are three climate impacts that are not taken into consideration in the new design of 2020. The Netherlands is familiar with its battle against high water, but the new extreme summer climate effects are rather unknown. Those three climate effects can cause damage to all assets except for the dam. The method focusses also on this aspect of climate change. The ship locks and outlet sluices are mainly indirect involved in possible problems. For

example, the quality of the IJsselmeer water level due to salt intrusion and the limited load capacity of ships. Those problems do not affect the water safety which has always been the prior goal of Rijkswaterstaat. Summer related problems are explored by Rijkswaterstaat but have not yet received the attention it deserves. The new motorway will probably also experience a series of issues due to heat waves and the same shall apply for the bridges. The many faults of the bridges due to heat were already known and the method confirms this. Due to climate change those faults remain a potential problem.

The 21 identified problems of the 2020 design still have an element of uncertainty and lack knowledge or experience to some degree which means they need to be explored in the further steps of the method. Until a certain level the water safety and discharge is covered but there are limited further resources in strengthening in the design of 2020. An attention point for Rijkswaterstaat is to focus more on the problems that might occur during hot summers. Lots of assets are influenced by heat, drought or a low water level. In the future, hot summers will be more common and thus different types of problems will be experienced and in 2085 this impact is likely to be big.

11.3 Conclusion on method

To answer the research question: it is possible to develop a working and easy method that gives good insight in all potential problems of climate change on infrastructural assets. The Afsluitdijk is an infrastructural asset that is well-known and often researched and some of the uncertainties were already known beforehand, but when the method is applied to less known assets, the results can be surprising. The application of the Afsluitdijk showed us that it is possible to develop a method that can assess climate change impacts on infrastructural assets successfully. This way adaptability can be obtained by identifying the uncertainties that need a specific adaptive solution. Adaptability is defined as the capability of the management and the design of infrastructural assets in the Netherlands to deal with uncertainties, both in size as pace, of climate change in the year of 2085.

The systematic aspect is new in this method compared to how it is previously done. The method provides a total overview based on the framework of the expert and helps the expert to assess all parameters without skipping critical parts. The application to the Afsluitdijk has shown that the method can be a helpful tool to appoint possible risks that need further research to reach a sufficient adaptability level of the infrastructural asset that is explored. However, some indicated problems will always be a risk. Those problems remain uncertain since they are simply not that easy to predict. An example is sea level rise. No matter how high the new dam is, wave overtopping will always be a risk since the amount of sea level rise is hard to predict and the prospectations change often. Still, having insights in those possible problems, is profitable for Rijkswaterstaat. By having those problems in sight, quickly action can be undertaken and anticipated on this by thinking of solutions beforehand.

This method is needed for parties like Rijkswaterstaat to provide a thorough and detailed overview of the impacts of climate change on their infrastructural assets that allows them to appoint possible problems and their causes that might occur in the future regarding the safety or reliability of the asset. By having an accurate overview, concrete steps can be distinguished to make the infrastructure adaptable to the impacts of climate change. The great versatility of the method makes the method practical for all types of policy makers.

11.4 Further research

- ❖ First of all, needs the method be applied in its totality. In this first exploration only the first two steps are performed and the focus was on the identification of uncertainties. The next step is to look for compound events and interdependency between uncertainties. After this a risk analysis has to be done to determine what further (combination of) uncertainties need adaptive solutions. In the fifth step those solutions are created. As last the cost element is included to determine what solutions have to be implemented and when.

- ❖ The method does not provide a total overview of all theoretical possible problems since all outcomes of the method are based on the perspective and framework of the expert that is interviewed. Interesting would be to explore how often the method should be applied to gain a total overview of all possible problems if this is even possible. Currently the method provides a total overview within the framework of the expert. A complete overview of all possible problems of all experts might be impossible. It is interesting to investigate what the ideal number of interviews would be per asset and if this influences the quality of the method. When this can be achieved the model can claim completeness.

References

- Arcadis. (2016). *Advies rapportage scheeflooppromblematiek schuiven spuiscuizen Afsluitdijk*. Amersfoort.
- Barringer, H., & Weber, P. (1996). Life Cycle Cost Tutorial. *Fifth International Conference on Process Plant Reliability*.
- Bos, H. (2014). *Synthesedocument IJsselmeergebied Achtergronddocument B5*. Deltaprogramma, IJsselmeergebied. Lelystad: Rijkswaterstaat.
- Centraal Bureau van de Statistiek. (2017, July 6). *Lengte van vaarwegen; vaarwegenmerken, provincie*. Opgeroepen op May 24, 2018, van Statline: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=71531NED&D1=0,16-18&D2=0,2,5,9,13&D3=0,5,10-11,1&HD=170606-1435&HDR=T,G2&STB=G1>
- Centraal Bureau van de Statistiek. (2017, July 6). *Lengte van wegen; wegenmerken, provincie*. Opgeroepen op May 24, 2018, van statline: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=70806NED&D1=0,2,5,8,14&D2=0,4,7,15,28,46,116,357,388,438,512,601&D3=4,9,14-15&HD=170606-1437&HDR=T,G2&STB=G1>
- Chappin, E. J., & Van der Lei, T. (2012). Modeling the adaption of infrastructures to prevent the effects of climate change. An overview of existing literature. *Third International Engineering Systems Symposium*, 1-16.
- de Jong, H., Hofman, R., Hendriksen, D., Santruckova, V., Groenendijk, J., Bouman, F., & van de Sligte, A. (2012). *Advies Deklagen Afsluitdijk*. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- De Nieuwe Afsluitdijk. (2018, September 20). *Projecten Afsluitdijk*. Opgehaald van www.denieuweafsluitdijk.nl: <https://www.deafsluitdijk.nl/wp-content/uploads/2014/05/overzicht-projecten-Afsluitdijk.pdf>
- De Winter, R. C., Reerink, T. J., Slangen, A. B., De Vries, H., & Van de Wal, R. S. (2017). Impact of asymmetric uncertainties in ice sheet dynamics on regional sea level projections. *Natural Hazards and Earth System Sciences*(17), 2125-2141.
- Della-Marta, P., Luterbacher, J., von Weissenfluh, H., Xoplaki, E., Brunet, M., & Wanner, H. (2007, March 20). Summer heat waves over western Europe 1880–2003, their relationship to large-scale forcings and predictability. *Clim Dyn*.
- Deltares. (2018). *Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning*. Ministerie van Infrastructuur & Water , Delft.
- Dijkstra, T. (2018, September 17). *Weather and Climate models*. Opgehaald van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/research/weather-climate-models>
- Directie IJsselmeergebied. (1997, July). Plattegrond en Details Stevin Schutsluis te Den Oever. *Bestek*.
- Directie IJsselmeergebied. (1997, July). Situatie Schutssluisen te Kornwerderzand. *Bestek*.
- Doswell, C., Moller, A., & Brooks, H. (1998). Storm Spotting and Public Awareness since the First Tornado Forecast of 1948. *Weather and Forecasting*, 14, 544-557.
- Fulmer, J. E. (2009, August). What in the world is infrastructure? *Guest Article: investment strategy*, pp. 30-32.
- Gunderson, L. (1999, June 30). Flexibility and Adaptive Management – Antidotes for Spurious Certitude? *Conservation Ecology*(3).
- Hastings, N. (2015). Physical Asset Management with an introduction to ISO55000. *Springer International Publishing Switzerland 2010*.
- Huitema, D., Mostert, E., Egas, W., Moellenkamp, S., Pahl-Wostl, C., & Yalcin, R. (2009, June). Adaptive Water Governance: Assessing the Institutional Prescriptions of Adaptive (Co-)Management from a Governance Perspective and Defining a Research Agenda. *Ecology and Society*.
- Institute of Asset Management. (2015). *Asset Management. An Atonomy* (3e ed.). London, United Kingdom: The institute of Asset Management.
- Jollands, N., Ruth, M., Bernier, C., & Golubiewski, N. (2006). The climate's long-term impact on New Zealand infrastructure (CLINZI) project. A case study of Hamilton City, New Zealand. *Journal of Environmental Management*, 460-477.
- Jonkman, S., Steenbergen, R., Morales-Nápoles, O., Vrijling, J., & Vrouwenvelder, A. (2017). *Probabilistic Design: Risk and Reliability Analysis in Civil Engineering*. Department of Hydraulic Engineering. Delft: TU Delft.
- Kalma, J. (2018, March 8). De brêge by Koarnwertersân. *Omrop Fryslân*.

- Klaassen, R. (2016). *Broeikaseffect*. Roger Klaassen Illustratie Strip & Cartoon, Culemborg.
- KNMI. (2006). *KNMI '06 Klimaatscenario's van Nederland*. De Bilt: KNMI.
- KNMI. (2015, January 1). *Klimaatscenario's voor Nederland '14*. Opgeroepen op February 9, 2018, van Klimaatscenario's.nl: http://www.klimaatscenario's.nl/images/Brochure_KNMI14_NL.pdf
- KNMI. (2017, February). KNMI, verwachtingen waarmaken. De Bilt, Utrecht, The Netherlands.
- KNMI. (2018, September 6). *Klimaatverandering*. Opgehaald van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/klimaatverandering>
- KNMI. (2018, September 6). *KNMI '21 - Klimaatscenario's*. Opgehaald van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-21-klimaatscenario-s>
- KNMI. (n.d.). *Golven*. Retrieved May 31, 2018, from www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/golven>
- KNMI. (n.d.). *Hittegolf*. Retrieved May 31, 2018, from www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/hittegolf>
- KNMI. (n.d.). *Hoe vaak komt extreme neerslag zoals op 18 juli tegenwoordig voor, en is dat anders dan vroeger?* Opgeroepen op May 25, 2018, van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/hoe-vaak-komt-extreme-neerslag-zoals-op-18-juli-tegenwoordig-voor-en-is-dat-anders-dan-vroeger>
- KNMI. (n.d.). *Zeespiegelstijging*. Retrieved May 31, 2018, from www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zeespiegelstijging>
- KNMI. (n.d.). *Zware Neerslag*. Retrieved May 25, 2018, from www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zware-neerslag>
- Koleczko, K. (2012, January 8). Risk and uncertainty in project management decision-making. *Public Infrastructure Bulletin*, 76-83.
- Kraaijenhagen, C., Van Oppen, C., & Bocken, N. (2016). *Circular Business, Collaborate and Circulate* (2e ed.). Amersfoort, The Netherlands: Circular Collaboration.
- Lenderink, G., Van Meijgaard, E., & Selten, F. (2009). Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006 from the perspective of a changing climate. *Clim Dyn*(32), 19-33.
- Levvel. (2017). *Project Afsluitdijk Plan Vormgeving*. Gorinchem.
- Lints, T. (2012, February 06). The Essentials of Defining Adaption. *International Systems Conference*, 37-41.
- Martinez Calzon, J., & Ladron de Guevara Mendez, G. (2008, October 24). Swing Bridge for the Formula 1 Race Course on Valencia Harbour, Spain. *Structural Engineering International*, 332.
- MC2 Estudio De Ingenieria . (2017, 12 30). Valencia Port Swing Bridge. *Grupo Typsa*.
- Meehl, G., & Tebaldi, C. (2004, August 13). More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science*(305), 994-997.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (n.d.). *Energieneutrale Ramspolbrug icoon van innovatie*. Retrieved February 9, 2018, from www.rijkswaterstaat.nl: https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Factsheet%20N50%20Ramspol-Ens%2C%20energieneutrale%20Ramspolbrug%20icoon%20van%20innovatie_tcm174-362296_tcm21-15526.pdf
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2009, 11 2). *Legger Afsluitdijk*. (1.0). Utrecht.
- Ministeries van VROM, V&W, LNV, EZ en IPO, VNG en UvW. (2007). *Maak ruimte voor klimaat! Nationale adaptatiestrategie – de beleidsnotitie*. Den Haag: VROM.
- NASA. (2018, May 24). *The relentless rise of carbon dioxide [Illustration]*. Retrieved May 25, 2018, from https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/
- NOS. (2018, July 24). 'Bruggen Amsterdam dicht vanwege hitte, deel scheepvaart gestremd'. *NOS*.
- NOS. (2018, January 5). 'Problemen in Duitsland door hoogwater'. Retrieved February 12, 2018, from <https://nos.nl/artikel/2210663-problemen-in-duitsland-door-hoogwater.html>
- NOS. (2018, January 5). *Sneeuw, gladheid en ijzige kou: winterweer blijft oosten VS teisteren*. Retrieved February 9, 2018, from www.nos.nl: <https://nos.nl/artikel/2210578-sneeuw-gladheid-en-ijzige-kou-winterweer-blijft-oosten-vs-teisteren.htm>
- NOS. (2018, January 17). *Tachtig bruggen en tunnels komende jaren aangepakt*. Retrieved June 3, 2018, from www.nos.nl: <https://nos.nl/artikel/2212335-tachtig-bruggen-en-tunnels-komende-jaren-aangepakt.html>
- Ongering, E. (2012, November 08). Peil IJsselmeer niet omhoog. *De Telegraaf*. (1972). *Overzicht Wegverhandingen op de Afsluitdijk*. Rijkswaterstaat, Wieringen, Friesland.

- Recreatie Toervaart Nederland. (2000). *Beleidsvisie*. Opgehaald van <http://knmc-vnm.nl/wp-content/uploads/2011/09/brtn2000.pdf>
- Rijkswaterstaat. (1930). *Areaal tekening spuicomplexen*. Rijkswaterstaat. Directie IJsselmeergebied.
- Rijkswaterstaat. (2014). *Afstromend wegwater (KAWW)*. Utrecht: Water, Verkeer en Leefomgeving.
- Rijkswaterstaat. (2015). *Masterplan Beeldkwaliteit Afsluitdijk*. Bestuurlijke Sturgroep Afsluitdijk.
- Rijkswaterstaat. (2018, June 28). *IJsselmeergebied: zoetwatervoorraad op peil*. Opgehaald van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/ijsselmeer-zoetwatervoorraad-op-peil/index.aspx>
- Rijkswaterstaat Directie Flevoland. (1989). *Groot onderhoud Spuisluizen Afsluitdijk*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Lelystad: Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied.
- Rijkswaterstaat Directie Sluizen en Stuwten. (1987). *Stabiliteit Kunstwerken in de Afsluitdijk*. Lelystad: Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied.
- Rijkswaterstaat Midden Nederland. (n.d.). *Historie*. Retrieved February 23, 2018, from www.deafsluitdijk.nl: <https://www.deafsluitdijk.nl/themas/historie>
- Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017). *Ontwerp-Rijksinpassingsplan Afsluitdijk. Aanvulling 2017*. Utrecht.
- Roggema, R. (2009). *Adaption to climate change - A spatial challenge*. The Netherlands: Springer Science+Business Media B.V.
- Roosegaarde, D. (2016, September 2). *Gates of Lights*. Opgehaald van [Studioroosegaarde.nl](http://www.studioroosegaarde.nl): <https://www.studioroosegaarde.net/project/gates-of-light>
- Ruiter, P. B. (2017). *Instandhoudingsadviezen 4 draaibruggen Afsluitdijk*. Utrecht: Iv-Infra b.v.
- Schultz, M. M. (2010). *Decision Making Under Uncertainty*. Engineer Research and Development Centre. USA: US Army Corps of Engineers.
- Seawright, J., & Gerring, J. (2008, June). Case Selection Techniques in Case Study Research - A Menu of Qualitative and Quantitative Options. *Political Research Quarterly*, 294-308.
- Speksnijder, C. (2018, August 15). Hoe kon de Ponte Morandi in het Italiaanse Genua instorten? *De Volkskrant*.
- Stenvert, R. (2015). *Schutsluis Kornwerderzand, Afsluitdijk. Cultuurhistorische waardestelling*. Utrecht: Bureau voor Bouwhistorie en Architectuurgeschiedenis.
- Stewart, M., Wang, X., & Nguyen, M. (2011). Climate change impacts and risks of concrete infrastructure deterioration. *Engineering Structures*(2), 1326-1337.
- Stichting Nederlands Normalisatie Instituut. (2018, September 15). *NEN2767-4*. Opgehaald van <https://www.nen2767-4.nl/pagina/informatie.html>
- ter Maat, G., & van Meurs, G. (2010). *IJsselmeerpeil bij zeespiegelstijging, waterveiligheid IJsselmeergebied*. Delft: Deltares.
- Transportation Research Board of the National Academies. (2013). *Climate Change, Extreme Weather Events, and the highway system. Practitioner's Guide and Research Report*. United States: NCHRP.
- van den Hurk, B., Siegmund, P., & Klein Tank, A. (2014, May 26). KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective. *Scientific Report WR2014-01*, 1-115.
- Van Eyck, B. (1992, July 13). *Sluizen en Afsluitdijk bij Den Oever [Illustration]*. Retrieved February 20, 2018, from Beeldbank Rijkswaterstaat: <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/74790>
- Weather Online. (2018, October 30). *Spain*. Opgehaald van www.weatheronline.co.uk: <https://www.weatheronline.co.uk/reports/climate/Spain.htm>
- Willoughby, W. (1966). *Procedure for failure mode, effects, and criticality analysis (FMECA)*. Apollo Reliability and Quality Assurance Office. Washington: National Aeronautics and Space Administration.
- Witteveen + Bos. (2016). *Variantenstudie vervanging beweegbare bruggen Afsluitdijk*. Deventer: Witteveen+Bos.
- Yin, R. J. (2012). *Applications of Case Study Research*. United States, California: Sage Publications Inc.
- Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B., Seneviratne, S., & Ward, P. (2018, May 14). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*(8), 469–477.

Appendices

I. General interview form

For every asset, at least two interviews are conducted. Here follows an example of an interview. Every interview consists of two parts. The first part is about asset management of the parts in general and looks like this:

Part 1:

1. How often takes maintenance place of the *asset*?
2. I divided the asset in the following parts:

Asset part 1

Asset part 2

Asset part 3

Asset part 4

Do you agree with this division or are things missing or can be left out?

3. What is the periodicity of maintenance of the different parts?
4. How can the different parts fail?
5. How is this influenced?

After getting in answer to this questions about the maintenance in general the following table can be filled in:

	Maintenance that is carried out	Failure modes	Caused by?
<i>Asset part 1</i>			
<i>Asset part 2</i>			
<i>Asset part 3</i>			
<i>Asset part 4</i>			

Part 2:

This exists the matrix of all identified climate effects and the asset parts. This is elaborated in Chapter 2. Every box is discussed and possible effects are noted.

	<i>Climate effect 1</i>	<i>Climate effect 2</i>	<i>Climate effect 3</i>	<i>Etc..</i>
<i>Asset part 1</i>				
<i>Asset part 2</i>				
<i>Asset part 3</i>				
<i>Asset part 4</i>				

1. What are (possible) effects looking at all boxes individually?

By doing this in a structured way, interviewees might recognize problems they would otherwise not have thought of. Not all impacts climate impacts on the asset might be known by the interviewees and more people need to be approached in order to find the answer.

II. Interview transcripts

1. Emiel Boerma – Dam

30th of July 2018

Franka: Ik wil onderzoeken wat het effect is van klimaatverandering op het assetmanagement en ik gebruik de Afsluitdijk als casestudy. Ik studeer Construction Management en Engineering. Voor mijn onderzoek heb ik de Afsluitdijk verdeeld in de vijf assets: dat zijn de dijk, de weg, de schutsluizen, de spuisluizen en de bruggen. Met jou wil ik graag de dijk bespreken. Ik wil eerst graag iets weten over het onderhoud van een dijk en hoe lang het duurt tot je bepaalde onderdelen moet vervangen of repareren en hoe die onderdelen kunnen falen. Dan heb ik ook nog alle klimaatinvloeden beschreven en dan wil ik graag weten wat het effect van die klimaatinvloeden is op de dijk per onderdeel. En dan wil ik ook nog iets weten over de adaptiviteit van de dijk.

Emiel: Wil je ook nog kijken naar de strekdammen? Die bij Den Oever en Kornwerderzand. Golfbrekers.

Franka: Die heb ik niet in mijn onderzoek meegenomen. Ik bedoel de echte dijk waar je overheen rijdt. Als eerste algemene vraag: om de hoeveel tijd vindt groot onderhoud plaats van de dijk?

Emiel: Tsja wat is groot?

Franka: Om de hoeveel tijd wordt hij gecontroleerd en is er dan ook iets mis?

Emiel: Hij wordt geïnspecteerd, wekelijks bijna. Dat staat in het prestatiecontract. En dan checkt hij of de steenbekleding nog wel op de goede plek ligt en of er geen gaten in zitten. Maar die frequentie is wel risico-gestuurd. In de zomer gebeurt dat niet wekelijks, dan gebeurt dat maandelijks ofzo. Maar straks in het stormseizoen gebeurt dat vaker, misschien wel elke week, maar in ieder geval vlak na een storm. Dan ga je daarna altijd naar buiten om te inspecteren. En dan kijk je wat de schade is en naar aanleiding van die schade ga je herstel uitvoeren als nodig. En aan een dijk kunnen een paar dingen gebeuren; de steenbekleding kan eraf vliegen, dat gebeurt ook weleens. Op de Afsluitdijk ook weleens, zeker bij zwaardere stormen. Maar wat ook bij lichtere stormen wel gebeurd is, is dat de split uitspoelt. Tussen de voegen van die steenbekleding zitten allemaal van die kleine steentjes en die spoelen heel vaak uit. Al bij best wel reguliere stormen kan dat gebeuren. Als dat teveel is uitgespoeld dan moet dat ook hersteld worden. Er zit niet echt een hele continue onderhoudsperiode tussen, zoals bijvoorbeeld bij staal ofzo, dat je weet dit kan 20 jaar mee en dan moet je het conserveren. Het onderhoud is heel erg gebaseerd op wat gebeurt erbuiten.

Franka: Er is niet een draaiboek voor dijken in het algemeen, maar je kijkt per dijk wat er is gebeurd qua stormen? En dan ga je daar je onderhoud op aanpassen.

Emiel: Inderdaad, het is niet voor een dijk algemeen. Het kan bij de ene dijk heel anders zijn dan bij een andere dijk. Nu ligt er dus allemaal bekleding in de vorm van steenzetting. We hebben zandzuilen op de Afsluitdijk met split ertussen. Straks liggen daar level blocks. Ja, daar zal na eenzelfde soort stormpje aan die level blocks helemaal niks mee gebeurd zijn. Daar hoeft nog minder onderhoud aan uit te worden gevoerd. Dus dat is ook heel specifiek van welk type dijk hoeveel onderhoud je eraan uit moet voeren. Maar regulier is dus inspecteren; voor en na de storm en waar nodig meer.

Franka: Dus dan checken ze vooral of de bekleding nog goed ligt en of er gaten in de dijk zitten.

Emiel: Ja dat is het voornaamste bij de Afsluitdijk om te checken. Bij andere dijken spelen weer andere problemen. Daar zijn geen golven bijvoorbeeld, daar ga je veel meer kijken naar piping, zijn er wellen opgetreden ofzo. Dat speelt allemaal bij de Afsluitdijk niet. Weet je de faalmechanismen van dijken?

Franka: Ik heb ze opgezocht:

- Bekleding faalt
- Macroinstabiliteit binnenwaarts
- Macroinstabiliteit buitenwaarts
- Microinstabiliteit
- Overloop
- Overslag
- Piping
- Instabiliteit vooroever

Emiel: Bekleding komt dus ook voor bij de Afsluitdijk. Dat is de belangrijkste. Macro-instabiliteit binnenwaarts; Tsja niet echt. Natuurlijk er wordt op ontworpen, dan blijft dat gewoon goed. Het is niet zo dat dat opeens in elkaar stort na een storm, dan moet er wel echt heel veel gebeurd zijn. Dat zou kunnen gebeuren maar dan heb je gewoon echt een gefaalde dijk. Dat is niet dat dat gebeurt tijdens de hardste stormen ofzo. De Afsluitdijk is daar wel echt goed op ontworpen. Dus dat zit hem niet in regulier onderhoud. Dan is hij echt helemaal stuk. Micro-instabiliteit dat heb je eigenlijk niet bij de Afsluitdijk. Overloop zou mogelijk kunnen spelen bij de Afsluitdijk, maar dat is eigenlijk overslag bij golven. Dus die golven die knallen eroverheen, maar dan moet het wel echt heel extreem zijn hoor, als er golven over de Afsluitdijk heen komen, maar theoretisch kan dat, dan kan er wat schade optreden. Er kan wat schade zijn aan het gras aan de binnenkant en dan moet dat hersteld worden. Piping speelt dus niet bij de Afsluitdijk. Dat heb je bijna nooit bij zeedijken, bij rivierdijken wel, want daar staat heel lang dat water hoog tegen die dijk. Bij zeedijken is dat alleen bij een stormopzet en dat is maar een relatief korte periode en dan zakt het water alweer. Instabiliteit voorland speelt wel bij de Afsluitdijk. Dat is als je waterbodembodem voor de dijk instabiel wordt door dat daar bijvoorbeeld een geul ontstaat en onderwater schuift dat dan af. Dat is wel een heel belangrijk aspect bij de Afsluitdijk. Ook zeker in relatie tot assetmanagement want er zijn allerlei geulen langs de Afsluitdijk en die migreren, die verplaatsen door stroming. En een geul een beetje bij Kornwerderzand, ter hoogte van de knik, die komt steeds dichterbij de dijk.

Franka: En dan kan dus de dijk beschadigen?

Emiel: Ja die wordt heel goed in de gaten gehouden. Die wordt elk jaar gemonitord. En twee jaar geleden is ook die geul, zeg maar het onderwatertalud, helemaal afgestort met breuksteen. Een geul is een verdieping in de waterbodembodem en is ontstaan doordat daar bepaalde waterstromen veranderen. Dat is wel een belangrijk aspect van assetmanagement dat je dus dat voorland heel goed in de gaten houdt.

Franka: Ik heb geprobeerd de dijk op te delen in verschillende onderdelen. Ik wil graag van jou horen of het zo compleet is of dat je denkt dat bepaalde onderdelen weg moeten of juist erbij. Ik heb bekleding, structure, zinkwerk en teenconstructie, inner slope gras, en capaciteit, die is vrij voor de hand liggend. Is dit compleet of denk je dat er nog dingen missen of weggelaten?

Emiel: Nee voor de Afsluitdijk zijn dit de belangrijkste dingen, de bekleding en de binnenkant.

Franka: Hoe lang gaat die bekleding ongeveer mee?

Emiel: Die basaltblokken die er nu op liggen zijn uit 1930. En zijn nog steeds perfect. Voor bekleding rekenen we eigenlijk met 50 jaar. Je ontwerpt op 50 jaar, dus kijkt 50 jaar vooruit bij dijken, maar in de praktijk gaat het veel langer mee. Het gaat zo 100 of 200 jaar mee. Er liggen ook betonblokken op de dijk. Die zijn niet zo oud maar ook die gaan ook 50 tot 100 jaar mee. Die hebben basaltblokken vervangen. Niet omdat ze stuk zijn, maar omdat ze te klein zijn. Je moet een bepaalde hoogte hebben in je zuil, op een gegeven moment werden de golven te hoog en zwaarder. Tegenwoordig wordt basalt niet meer gebruikt omdat dat met de hand gezet moet worden. Dus dan is dat vervangen door betonzuil die dan hoger is.

Franka: De structure zand en keileem, kun je dat vervangen of faalt dat überhaupt?

Emiel: Nee dat is echt als je een afschuiving krijgt. Macrostabiliteit ofzo, dat gebeurt niet bij de Afsluitdijk. Het kan wel gebeuren maar dan heb je echt een gefaalde dijk. Dat gebeurt onder hele extreme omstandigheden. Qua onderhoud hoeft je daar niet naar te kijken. Het degradeert ook niet echt. Het blijft gewoon op zijn plek, dat is ook de bedoeling en je hoeft voor de rest niet echt meer naar om te kijken. Alleen zetting is nog wel iets om naar te kijken. Dus dat de boel inklinkt, lager wordt. Maar als je naar de Afsluitdijk kijkt gebeurt daar niks mee.

Franka: Zinkwerk en teen-constructie. Zinkwerk heeft niet echt meer een functie toch? Het was alleen nodig om de dijk te bouwen.

Emiel: Tsja het zou ervoor kunnen zorgen om te voorkomen dat zand uitspoelt. Tussen de breuksteen door.

Franka: Waaruit bestaat zinkwerk?

Emiel: Dat zijn wilgen, daar maken ze matten van en daarom kwam zinksteen, van die kleinere stenen. Om dat af te zinken op de bodem. En daaroverheen komt dan de breuksteen. Dat zorgt er op dat moment ook voor dat het zand niet uitspoelt tussen de stenen door. Nu wordt dat veel met geo-textiel gedaan en dan is het wel belangrijk dat het zand dicht blijft want anders gaat dat zand onder dat geo-textiel ontsnappen.

Franka: Wordt dat zinkwerk nog gecontroleerd?

Emiel: Nee dat kan je niet meer controleren. Dat ligt onder water, onder steen en dat wordt niet meer gecheckt.

Franka: Dus jullie gaan ervan uit dat het nog goed werkt?

Emiel: Ja, het is een beetje de vraag of het nog een functie heeft. Dat weet ik even niet. Dat zouden we na moeten gaan. Dat is wel interessant om te weten. Kijk als er bijvoorbeeld klei overheen ligt, dan heeft klei die functie overgenomen, als scheiding tussen zand en steen. Dan kan dat zinkwerk helemaal verrotten. Dan maakt het niet uit. Maar als het nog de enige zanddichte laag is tussen het breuksteen en het zand, dan heeft het wel echt een functie.

Franka: En die teenconstructie, waar zit die dan precies?

Emiel: Deze laag steen, heb je toevallig nog een plaatje? Kijk, deze berg steen is de teenconstructie. Dit is relatief kleine steen, sortering 6 tot 300 en tijdens een flinke storm kan hier nog weleens wat schade aan zijn. Dat er gewoon een paar stenen afrollen. Het is een hele grote berg steen dus er mogen best een paar stenen afrollen. Dan is er nog niet zo veel aan de hand. Maar die teenconstructie die ondersteunt dus deze blokken op het talud. Anders zakken die andere allemaal weg. En hiertussen zit dan nog een schot, een damwand, een plank. Als het hier te steil wordt of te diep dan zie je hier voorwandinstabiliteit. En spoelt het hele zaakje weg. Dat dreigt te gebeuren bij de Afsluitdijk en daarom is deze helling helemaal bestort met steen zodat hij niet verder afkalft. En zo'n teenconstructie, over het algemeen is daar wel wat onderhoud aan noodzakelijk. Deze wordt bij relatieve lichte stormen het zwaarst belast. Want als je een zware storm hebt staat de waterstand veel hoger en dan voelen die stenen er niet meer zoveel van. Maar met wat lagere golven staat de waterstand wel ter hoogte van die stenen en klappen die golven juist op die stenen en beschadigt dat nog weleens. En die stenen worden ook ontworpen op schade. Bij deze steenzetting ontwerp je eigenlijk zo dat er geen steen uit mag vliegen, maar hier heb je dus wat soepelere schadecriteria. Dat drukken ze uit in n.o.d.-waardes. Dat mogen bijvoorbeeld 5 stenen per vierkante meter zijn die verdwijnen. Tijdens maatgevende condities is dat helemaal niet erg, de dijk ligt er nog prachtig bij, maar dat zorgt dus wel voor dat je af en toe na zo'n storm hier wat onderhoud moet uitvoeren. Dus dat is gewoon regulier onderhoud. Wel echt op basis van stormen. Het is niet zo dat het eens in de 20 jaar gebeurt. Kan elk jaar voorkomen, kan ook 10 jaar niet voorkomen. Bij de Afsluitdijk is het voorgekomen dat hier wat schade aan ontstaan is. Begin 2000 is hier heel veel breuksteen bij gegooid. Om het aan te vullen. En sindsdien ligt het er eigenlijk heel goed bij en is er nooit meer wat aan gedaan. Dat is de teenconstructie.

Franka: Dan inner slope. Zou dat kunnen verzakken door weersinvloeden, door droogte, slecht onderhoud of wanneer er mollen inzitten o.i.d.?

Emiel: Ja, heel goed beseft. Dat heeft te maken met overslagbestendigheid. Dat wordt ontworpen op het feit dat er water overheen mag slaan in extreme condities.

Franka: En dat water kan dan gewoon wegzakken en komt daardoor niet op de weg?

Emiel: Nee dat spoelt helemaal over de Afsluitdijk heen. Maar onder die omstandigheden is de Afsluitdijk ook wel echt afgesloten. En dat zijn echt hele grote hoeveelheden. Dat is 10 liter per seconde per meter. Dat lijkt weinig, dat is een emmer per seconde maar op de top van de storm kunnen dat echt enorme golven zijn die erover heen spoelen. Dat gras moet dat aankunnen. Binnen de waterwet hebben we toetsing, VTV-toetsing. Elke 6 jaar doen we een VTV-toets (Voorschrift Toetsen op Veiligheid). Maar dat is nu WBI: Wettelijk Beoordelings Instrumentarium. Voor primaire waterkeringen, die worden dus periodiek getoetst aan de hand van WBI. Elke 12 jaar wordt dat getoetst en dan worden al deze aspecten getoetst om te kijken of de bekleding nog sterk genoeg is etc. vroeger gebeurde dat dus vaker. Ook de binnenzijde van de dijk wordt getest, dat is een belangrijk aspect. Dan wordt dus ook gekeken of het gras nog van voldoende kwaliteit is. Dat is heel erg belangrijk voor die overslagbestendigheid. De doorworteling van het gras.

Franka: Is dat een speciaal soort gras met extra lange wortels o.i.d.?

Emiel: Ja, daar worden wel specifieke grasmengsels voor gebruikt. Om dat gras ook in goede conditie te houden, hoort daar ook een speciaal soort onderhoud bij. Want je hebt een hele arme grasmat nodig met weinig voedingssoorten. Dat zorgt ervoor dat er grassoorten komen die heel goed moeten doorwortelen. Dat maakt de boel veel steviger dan dat er bijvoorbeeld allemaal brandnetels gaan groeien met kleine slappe worteltjes.

Franka: Dus andere planten mogen er helemaal tussen groeien?

Emiel: Niet te veel nee. Sommige andere planten geven er ook juist goede stevigheid aan en voor de Afsluitdijk valt dat wel weer mee, want de Afsluitdijk heeft onder dat gras nog een hele sterke keileemlaag. Dus stel dat gras is niet zo goed, dan is toch de totale bekleding nog goed. Je hebt ook dijken in Nederland, die hebben geen klei. Dan zit het

gras gewoon op het zand en daar is de sterkte van het gras superbelangrijk. Als dan het gras beschadigt, spoelt gelijk het zand uit. Dan wordt de dijk beschadigt door golven die overslaan.

Franka: Wordt dat gras, nu het bijvoorbeeld zo droog is de afgelopen weken, gespreid of zo?

Emiel: Nee, bij de Afsluitdijk niet omdat dat gras dus niet een hele belangrijke functie heeft. Je ziet ook om dat gras sterk te houden kun je bepaald beheer en onderhoud uitvoeren. Het beste is maaien en afvoeren. Dus je maait het gras en voert het maaisel af zodat je die voedingsstoffen eruit wegneemt zodat je een hele arme, sterke grasmatt krijgt. Als je alleen gaat klepelen, krijg je weer meer nutriënt in je gras waardoor je dus meer brandnetels en onkruid en dergelijke krijgt. Op de Afsluitdijk wordt geklepeld (maaisel blijft achter) en daarom zie je dat het een beetje rommelig is. Het is altijd een beetje bruinig, geel, andere planten ertussen. De overgang tussen de Afsluitdijk en het Waterschap van Friesland is groot. Dat gaat opeens over in groen, mooi, kort gemaaid gras. Die onderhouden dat heel goed. Ik weet niet zeker of zij afvoeren maar wat je ook heel vaak ziet is schapen, die zijn ook heel goed. Die staan ook niet op de Afsluitdijk.

Franka: Als het opeens een paar maanden dan veel regent, kan het ook zijn dat het gras te slap wordt, en andere planten ertussen staan?

Emiel: Ja dat zie je ook wel gebeuren. En als het dus te droog is dan zal het heel erg bruin worden. Ik ben er al een tijd niet meer geweest maar ik denk inderdaad dat het er nu heel slecht bij ligt. Heel droog en bruin. Maar als het dan weer gaat regenen dan groeit het wel weer aan. En zoals ik al zei voor de Afsluitdijk is dit niet een heel kritisch punt. Omdat dat gras niet het allerbelangrijkste is. Daaronder zit nog een kleileemlaag en die is ook heel sterk. Dus als dat gras een beetje beschadigt is dan is dat voor de Afsluitdijk niet zo erg. Maar voor andere dijken, ik kan me voorstellen bij rivierdijken met alleen zand, dat ze de dijken moeten sproeien om te zorgen dat het gras op sterkte blijft. Voor nu is dat niet heel erg van belang want nu is het geen stormseizoen, maar je wil wel straks aan de voorkant van het stormseizoen, rond oktober, dat dat gras op volle sterkte is. Wat ze ook doen bij droogte is dat ze de dijken gaan sproeien om te zorgen dat deze niet uitdroogt. Dat is in 2007 o.i.d. gebeurd. Toen is een dijk afgeschoven door droogte. Dat was een veendijk. Dat veen was uitgedroogd en ging dus een beetje drijven en schoof er heel makkelijk af. Dat speelt bij veendijken, bij de Afsluitdijk helemaal niet. Dat sproeien was de afgelopen dagen ook al in het nieuws dat ze de dijken sproeien om ze voldoende nat te houden. Vooral veendijken dus. Dus het enige regulier onderhouden aan de dijk is het grasmaaien vanwege sterkte van de dijk. Want als het echt een grote bush wordt is dat zeker niet goed voor de sterkte. En wat ze doen is, ze inspecteren van het buitentalud en kijken of er geen planten doorheen groeien. Dus vooral houtvormige planten.

Franka: Er groeien wel planten toch? Bramenstruiken etc.

Emiel: Ja, planten mag, maar als het houtvormig wordt in de bekleding, wilgen etc., die dan tussen die stenen doorgroeien. De regel is, als het dikker dan 3 centimeter wordt, dan moet het weg. Als het echt een stammetje wordt, dat gaat het echt de steen uit elkaar duwen en dan kan je schade krijgen. Dus dat wordt weggekapt. Dus dat is het reguliere onderhoud.

Franka: Dus vooral de bekleding en het gras. En aan de IJsselmeerzijde speelt daar hetzelfde?

Emiel: Ja eigenlijk wel. De golven aan de IJsselmeerzijde kunnen flink hoog zijn. Zo 1,5 meter. En daar is de constructie gewoon op uitgelegd. Daar liggen dan wat lichtere stenen, je zal niet zo snel een dijkdoorbraak hebben vanuit die kant, want die golven zijn inderdaad niet zo hoog. Maar als je hier flinke schade krijgt, kan je wel de A7 beschadigen. Dus het is wel belangrijk om het ook daar goed op orde te houden. Daar spelen dezelfde aspecten, grasmaaien en bekleding inspecteren. De zijdes voldoen aan dezelfde eisen, maar moet hogere golven incasseren.

Franka: Ik wil alles specifiek bekijken. Ik ben langs geweest bij het KNMI en heb alles bestudeerd m.b.t. tot klimaat. Zij hebben modellen online staan waarbij ze per scenario kunnen kijken in de toekomst hoeveel neerslag er gaat vallen en wat er met de temperatuur gebeurt. Ik zoek kritieke punten van neerslag en temperatuur. Zijn die er?

Gesprek gaat verder over CO₂-gehalte

Franka: Op de Afsluitdijk ligt geen beton toch?

Emiel: Ja, dat ligt er wel. Oorspronkelijk is het met basalt aangelegd maar er zijn ook veel delen vervangen door beton. Want je kijkt alleen naar de huidige? Want straks ligt er al helemaal veel beton. Maar nu ook al dus.

Franka: Denk je dat hele hoge temperatuur of hele lange temperatuur effect heeft op de basaltstenen?

Emiel: Nee, ik denk het niet. Basalt nee. Niet in deze range. Als het heel hoog of laag is wel maar niet als het 5 graden hoger wordt.

Franka: Kan me wel voorstellen dat die stenen in de zomer wel 40 of 45 graden kunnen worden.

Emiel: Voor basalt zie ik daar geen invloed op. Dat is wel een belangrijk mechanisme hoor. Ze breken weleens, die basaltzuilen. Maar dat komt door temperatuurverschillen. Maar dat gebeurt eigenlijk heel weinig. Verreweg de meeste liggen er nog gewoon. Het is wel een mogelijkheid maar dat is wel heel theoretisch. Dat zou ik ook echt niet kunnen kwantificeren hoeveel invloed dat dan is. Maar theoretisch hebben hogere of lagere temperaturen wel invloed op basalt.

Franka: Wat is het effect van kruiend ijs op de Afsluitdijk?

Emiel: Dat blijft wel een belangrijk aspect om rekening mee te houden, maar mogelijk wordt dat minder ja.

Franka: Want het IJsselmeer moet bevroren zijn en in combinatie met wind, ontstaat kruiend ijs. En waar heeft dat dan effect op?

Emiel: Op de bekleding. Die zou dan mogelijk kunnen beschadigen. Maar nu lag er weer 3 meter ijs op deze winter, maar er is geen steen verplaatst. Dus het heeft niet tot schade geleid. Sowieso de schade die er zou zijn ontstaan was ook niet gevaarlijk geweest in het kader van waterveiligheid. Er zijn dan ook geen stormen. En de schade is niet zo significant. Zou alleen wat onderhoudsinspanning geven. Dus je moet wat herstellen. Maar bij de Afsluitdijk speelt dat niet echt. Ook deze winter niet eens schade.

Franka: En ook de teenconstructie, is dat niet gevaarlijk?

Emiel: Ja, voor die berg stenen die daarvoor ligt, die is juist gevoelig daarvoor. Die kan flink aan de haal gaan.

Franka: Dus of de teenconstructie of de bekleding?

Emiel: Ja, en dat speelt dus alleen aan de IJsselmeerszijde. De waddenzeezijde is niet meer realistisch, niet meer naar deze tijd.

Franka: En als je dan naar neerslag kijkt? We hadden droogte al besproken, maar bij veel neerslag?

Emiel: Dan kan hetzelfde gebeuren. Als dat helemaal zeiknat is en blijft, dan kan het gras ook doodgaan. Of door hagel ofzo. En ja, misschien dan toch, dat speelt nu nog niet echt. Dat is wel iets van micro-instabiliteit kan krijgen. Het is wel theoretisch allemaal hoor.

Franka: Voor de rest, heeft die neerslag weinig effect?

Emiel: Alleen inner slope ja.

Franka: En sea level rise?

Emiel: Als je hoger water hebt heb je hogere golven in het algemeen. En een laag IJsselmeerpeil, daarvan gaan de belastingen omlaag, alleen het verval, net als bij kunstwerken neemt wel toe over de dijk. Theoretisch zou dat invloed kunnen hebben, maar bij de Afsluitdijk eigenlijk niet want die is zo breed. Dus dan zouden dingen als macro-instabiliteit een rol spelen, maar het is zo'n enorme dijk.

Franka: En stel het water staat heel laag, kunnen die wilgenmatten dan bloot komen te liggen en beschadigd raken?

Emiel: Ja, dat zou wel kunnen. Maar de vraag is of ze nog een functie hebben, van dat zinkwerk qua zanddichtheid enzo. Zou ik Eric Regeling voor vragen.

Franka: En die golfhoogte gaat in dezelfde lijn mee als sea level rise?

Emiel: De golven worden ook hoger. De golven bij de Afsluitdijk zijn dieptebeperkt, dus de golven worden ook hoger. Als het dieper wordt kunnen de golven groeien. Je kunt niet een enorme golf hebben in een klein laagje water. Dus dat hangt heel erg met elkaar samen. Als de waterstand hoog wordt gaan de golven ook groeien. Is specifiek voor de Afsluitdijk hoor, is niet bij alle dijken. Dus dat geldt ook bij hoger IJsselmeerpeil.

Franka: Dan wil ik het verder nog hebben over adaptiviteit. Zijn die geronden problemen ook aanwezig bij het nieuwe ontwerp van 2020 en is het nieuwe ontwerp adaptable? Met level blocks kan ik me voorstellen dat het probleem van het uitspoelen van die stenen opgelost is.

Emiel: Ja, maar daaronder ligt weer een teen. Daar geldt precies hetzelfde voor. Daar heb je weer onderhoudsinspanning aan. Dat moet je jaarlijks monitoren, en als er schade is opgetreden, wat best wel te verwachten is dan moet je dat weer aanvullen. Dus daar spelen dezelfde zaken. Dat split, die kleine steentjes, dat speelt dus bij de level blocks niet. Maar bij dijkvak 17 komen geen level blocks, dus daar speelt het weer wel. Daar komt steenzetting weer terug. Dat is het stuk tussen Kornwerderzand en de Friese kust. Daar zijn lagere golven dus daar kunnen ze met zulke stenen werken. Dat is een stuk goedkoper dan de level blocks. Daar kun je de hele Afsluitdijk wel in tweeën knippen daartussen zitten grote verschillen.

Franka: Komen er aan de IJsselmeerszijde ook level blocks?

Emiel: Nee, dat wordt vervangen door beton.

Franka: En dat gras blijft?

Emiel: Ja, dat blijft. Zelfde aspecten spelen daar. En voor adaptability: we hebben gekozen om dat buiten het talud te ontwerpen, zo dat in 2100 met W+ scenario (bekleding en de hoogte: 2050). Stel in 2050 blijkt dat hij niet meer hoog genoeg is, dan kan je hem verhogen naar binnen toe, niet naar buiten, dat zou enorm duur worden en kan eigenlijk niet meer. En kan je die level blocks laten liggen, die zijn nog goed tot 2100. Dus daar is zeker over nagedacht. In de planfase, waarbij tal van varianten zijn afgewogen, is adaptiviteit een heel belangrijk aspect geweest. Want we weten ook wel dat het allemaal heel onzeker is. Je wil het niet te duur maken, maar je wil ook geen desinvestering doen.

2. Bart Noordman – Outlet sluices

1st of August 2018

Franka: Ik wil onderzoeken wat het effect van klimaatverandering is op infrastructuur en assetmanagement. Daarvoor gebruik ik de Afsluitdijk als case study. Ik heb de Afsluitdijk verdeeld over vijf onderdelen; de brug, sluisen, weg en dam. Ook de klimaat effecten heb ik geprobeerd te beschrijven. Ik wilde het met jou hebben over de Spuisluizen. Ik wil eerst graag weten hoe onderhoud van de spuisluis eruitziet. Wanneer vindt groot onderhoud plaats en wat is er dan meestal mis?

Bart: Groot onderhoud hangt af van de technische levensduur van die kunstwerken. Kijk, deze spuisluisen zijn uit de jaren 30. Dus ja, de eerste 50 jaar valt dat best mee meestal, maar daarna komt dat denk ik in frequenties van ongeveer 20 jaar dat je groot onderhoud uit moet voeren. Ja dat zijn dan verschillende onderdelen. Zoals betonrenovaties, dan zetten ze de spuikokers droog en gaan ze de schades inspecteren en daaruit volgen maatregelen.

Franka: Waardoor komt die schade aan het beton dan?

Bart: Slijtages, degradaties van beton. Zoals hier hebben ze betonrot geconstateerd. En ze controleren ook de wanden, of de pijlers wel netjes bekleed zijn etc.

Franka: Wat zijn pijlers?

Bart: Kijk het is eigenlijk een hele simpele constructie. Het is eigenlijk een plaat die gestort is. Op die plaat hebben ze deze pijlers gezet. Ze hebben gewoon een kist gemetseld van natuursteen en die kist is weer volgestort met beton. Vrij dik beton, stampbeton noemden ze dat vroeger. Die pijlers zijn ook nog wel gewapend geloof ik. En omdat ze voornamelijk bij deze sluis vroeger nog niet goed wisten hoe goed dat beton tegen slijtage kon, hebben ze de pijlers nog bekleed met natuursteen. En de vloer hebben ze nog bekleed met metselwerk. Daar gaat natuurlijk heel veel sediment overheen en dat durfden ze destijds niet aan. En die vloeren zien er nu eigenlijk nog best wel goed uit. Echt grote renovaties aan betonconstructies heeft volgens mij een frequentie van 15 tot 25 jaar. Voor de rest, de stalen onderdelen en de aandrijving; de stalen schuiven die hebben conservering nodig. Dat is dezelfde frequentie als die betonrenovaties, dus ook ongeveer 20 jaar. Het is best wel afhankelijk van hoe oud een constructie is. Hoe ouder hoe meer werk natuurlijk.

Franka: Ik heb de spuisluisen verdeeld over verschillende onderdelen. Denk je dat dit zo compleet is of heb je nog aanmerkingen?

Bart: De kabels kan je wel scharen onder bewegingswerk. Concrete structure zijn de pijlers en de brugdekken. De behuizing van die koker is gewoon een vlakke plaat. Die pijlers staan op hun eigen gewicht op die plek.

Franka: Schuift dat niet?

Bart: Op afschuiving worden ze berekend. Op afschuiving van de hele constructie.

Franka: Door harde golven kunnen ze ook niet schuiven?

Bart: Nou in Kornwerderzand heb je dus een fundering onder paaltjes, omdat die grondlaag slapper is. Zijn ze destijds van inzicht veranderd. In Den Oever hebben ze het niet gedaan maar hier wel; we weten eigenlijk niet goed wat de conditie van die paaltjes is en hoe goed die nou verankerd zijn in de vloer. Het aller moeilijkste aan bestaande kunstwerken is beoordelen hoe goed iets is. Normaal als je er niet bij kunt, zeker voor die kwelschermen...

Franka: Wat zijn kwelschermen?

Bart: Dat zijn damwandschermen. Stel je hebt hier een wandje, dan doen ze er vaak een stalen scherm onder om grondwaterstroming te voorkomen. Bij kunstwerken doen ze dat standaard. Er zitten hier 5 rijen kwelschermen over de breedte van de sluis. Aan de voorkant en achterkant hele diepe en in het midden kleinere en die steken ook nog een stuk hier in de dijk om achterloopsheid te voorkomen. Achterloopsheid ontstaat door drukverschillen, als hier heel hoogwater staat en daar niet, krijg je een verhanglijn van grondwater als het ware in het kunstwerk en ontstaat er heel veel druk onder de constructie. Dat is op zich niet erg als die constructie maar op zijn plek blijft en als er maar geen uitspoeling van zanddeeltjes optreedt.

Franka: Weten ze wel nog wat de status van die kwelschermen?

Bart: Daarvan denken ze dat die nog wel vrij goed zijn.

Franka: Maar die zijn wel tegelijk gebouwd met die houten paaltjes.

Bart: Ja, dat moet als eerste. Omdat ze de kwaliteit van die houten paaltjes niet weten komt hierbij Kornwerderzand een stabiliteitsconstructie daarachter. Aan de IJsselmeerszijde komt een stabiliteitsconstructie in de vorm van een plaat met verankering loodrecht de grond in met grondankers in het nieuwe ontwerp. Puur omdat we anders niet kunnen garanderen dat het ontwerp de nieuwe hydraulische belastingen niet aankan en kunnen keren. Dan praat je wel over extreme condities maar daar moet het ook wel tegen bestand zijn.

Franka: En als je kijkt naar deze losse onderdelen, hoe lang denk je dat ze kunnen meegaan of hoe kunnen ze falen en waar komt dat dan door?

Bart: Bijna altijd zijn de schuiven van staal, het is afhankelijk van hoe ze gebruikt worden maar over het algemeen moeten die om de 5 jaar weleens bekeken worden. Bijvoorbeeld bij de Afsluitdijk heb je twee setjes schuiven, die gebruiken ze om de beurt, zodat er eentje droog staat. Dan heb je veel minder mosselgroei. En als je dat met je beheer en onderhoud goed stuurt, dat je ervoor zorgt dat ze om de beurt gebruikt worden, heb je minder mosselgroei en minder onderhoud dus ook.

Franka: Zijn die mosselen echt een groot probleem?

Bart: Bij de Afsluitdijk zijn ze daar wel actief mee bezig om dat te voorkomen. Want die schuiven worden natuurlijk veel zwaarder. Wat weer tot gevolg heeft dat je bewegingswerk veel zwaarder belast wordt, wat weer tot gevolg geeft dat alles veel sneller slijt. Beheeraspect is hier heel belangrijk in dat je dan in het besturingssysteem ook gewoon zo programmeert dat dit zo gebruikt wordt.

Franka: Zitten er in die tunnel ook beesten of mosselen?

Bart: Nee, die stormsnelheden zijn hier zo hoog, dat kan niet.

Franka: Om de hoeveel tijd worden die lifting mechanisms vervangen? Is het nog het origineel?

Bart: Het is niet meer helemaal origineel. Maar het principe is nog wel origineel. Ze hebben destijds een lifting mechanisme met gewichtsblokken gebouwd. Contragewichten. En die zijn ooit eens vervangen. Je kijkt natuurlijk generiek naar die spuisluizen. Dit is maar een van de bewegingsmechanismen die je kunt gebruiken.

Franka: Hoe bedoel je?

Bart: Als je kijkt naar IJmuiden, daar heb je bij het gemaal en de spuisluizen hydraulische schuiven. Dat is een heel ander mechanisme. En dat gaan ze hier straks ook doen. Alle bewegingswerken worden aangepast. Uiteindelijk is dat een kostenafweging of ontwerpuitgangspunt. Ze hadden dit misschien wel in stand kunnen laten als het binnen de ruimte en het budget paste, maar ze hebben ervoor gekozen om naar hydraulisch te gaan. Maar je ziet het, in die torens is het heel krap hier. Dat gaat nog een heel karwei worden. Je kunt je wel voorstellen, die cilinders zijn enorm. Die moeten daar naar binnen, samen met een hydraulische unit. Een pomp die olie rond kan pompen met alle toeters en bellen eraan. Daar heb je nog een aardige installatie voor nodig.

Franka: En hoe kan zo'n bewegingswerk dan falen?

Bart: Kabelsystemen worden meestal gesmeerd, dat gebeurt meestal wel op maandelijkse basis. Zodat je zo min mogelijk slijtage hebt. Je weet dat ze best veel gebruikt worden. De omlooprichting wordt ook gewoon gesmeerd. Volgens mij zitten hier elektrische liermotoren in, maar dat durf ik niet te zeggen.

Franka: Als het niet werkt, wordt het gerepareerd, bijv. als er een tandwiel kapot is ofzo?

Bart: Ja, het mooie is, het is allemaal hetzelfde, dus dat is makkelijk. Het is eventueel uitwisselbaar. Dat is natuurlijk niet handig, maar als ze identiek zijn kun je van de niet hoog waterkerende sluis een motortje afhalen en in een niet werkende stoppen natuurlijk. Bij wijze van spreken.

Je hebt natuurlijk ongetwijfeld ook dingen op voorraad. Maar op zich, tandwielen etc., met grote inspecties komt dat dan aan het licht. Maar dat zijn niet de onderdelen waar je snel problemen aan hebt. Ook omloopwielen niet. Dat gaat heel geleidelijk. Je ziet vanzelf slijtage optreden maar dat betekent niet dat het morgen kapot is. Dat betekent gewoon i.p.v. dat je 5 jaar ingeraamd had met een setje kabels dat dan de helft kan zijn.

Franka: Maar dat gebeurt dus elke maand ongeveer tegelijk met het smeren?

Bart: Ik weet niet of dat elke maand gebeurt, de onderhoudsfrequentie, daar weet ik niet veel van. Misschien zit er ook wel een smeringsstelsel op he? Dat kan ook. Daar moet je echt een werktuigbouwkundige voor hebben.

Franka: En die kabels, die kunnen natuurlijk ook slijten of breken, gebeurt dat vaak?

Bart: Nee, dat gebeurt niet vaak. Zeker omdat je ze door onderhoud vrij goed kan houden.

Franka: Die torens heb ik ook als apart onderdeel, maar dat is eigenlijk alleen maar beton toch?

Bart: Ja, dat zijn gewapende betonnen torens.

Franka: Daar ga ik denk met een betonspecialist over praten, maar als je er iets over weet wil ik het wel graag horen.

Bart: Het mooie aan beton is dat er weinig onderhoud aan nodig is. Het is belangrijk dat het bij aanleg zorgvuldig wordt aangebracht. En dan in de loop der jaren kun je nog conserveren of reparaties uitvoeren, dat gaat vrij makkelijk.

Franka: En de foundation?

Bart: De palen en vloer zou ik onder 1 ding scharen. Want het zit ook aan elkaar. Bij Den Oever heb je die palen dus niet, maar in feite heb je daar ook geen onderhoud aan. Wat ze wel doen is met droogzetten de conditie van die vloeren bekijken. Boven op die vloer ligt metselwerk en dat hebben ze juist opgebracht als extra laagje en de originele metselwerkvloeren liggen er volgens mij nog gewoon op. Wel netjes gepolijst door al dat zand. Dat gaat dus heel lang mee.

Franka: Falen die kwelschermen weleens?

Bart: Is heel moeilijk om te zeggen. Ze kunnen wel falen. Of de afdichting tussen de schermen is niet goed. Dat zijn damwandjes die simpel in elkaar hangen, dus daar kan dan wat water doorheen komen. De verbinding met de vloer kan ook niet meer helemaal goed zijn. Dat hebben ze hier trouwens wel gecontroleerd dat het nog goed was. Die zijn een halve meter in het beton opgenomen, dus die zitten er goed in. Verder is het best lastig. Het is robuust ontworpen.

Franka: En die bodembescherming hoe zit dat?

Bart: Dat noemen ze het ontvangstbed en het stortebed. Dat zijn inderdaad gewoon betonnen platen. In het geval van Kornwerderzand zijn ze nog onderheid maar het is gewoon een gigantische stroom water die je wil verspreiden over een veel groter oppervlak waardoor de stroomsnelheden weer afnemen. En dus je bodemprofiel niet beweegt. Echt, de grootste stroomsnelheden heb je dus vlak achter en voor de sluis.

Franka: Voor?

Bart: Nou in principe niet, want je wil geen zeewater inlaten in het IJsselmeer. Dus eigenlijk nooit. Maar stel daar gaat iets mis en daar hebben we rekening mee gehouden, er blijft er eentje openstaan en je krijgt hoog water, dan stroomt het keihard naar binnen. Dan is het leuk dat we hier hele goed bodembescherming hebben, maar hier gaat het dan ontgronden naar de stabiliteit van de hele constructie kan ondermijnen. Dus het zit aan beide kanten vanwege de stabiliteit van de constructie. Het is zo, dat ontgroning kan je echt niet altijd uit de weg gaan, maar je wil hem zo ver mogelijk van de constructie uit de buurt houden.

Franka: Komt er in de toekomst met pompen ook een enorme kracht op de bodembescherming?

Bart: Ja, die pompen komen bij Den Oever. Grote gemalen die het water aanzuigen, dus daar moet die bodembescherming ook op ingericht worden.

Franka: Slijten die platen snel? Moeten die weleens vervangen worden?

Bart: Nou, vervangen is sowieso geen sprake van. Het is eerder repareren, maar ik weet niet of daar ooit schades aan geconstateerd zijn. Het lijkt me niet. Het kan natuurlijk ook wel wegslijten, het is alleen maar schuurpapier wat er overheen gaat. Zoveel zand.

Franka: Elk klimaat-impact heb ik beschreven. Bij KNMI kan je dat invullen voor temperatuur en neerslag; invullen wat je wil zien in de toekomst, bij de modellen. Zijn er kritieke punten waarbij het echt problemen op gaat leveren? Dan kan ik de vergelijking maken tussen vroeger en nu. Ik weet niet of dat bij de spuisluizen het geval is?

Bart: De spuisluizen hebben veel te maken met het watermanagement van het IJsselmeer en eigenlijk van heel Nederland. Weet niet of je het een beetje mee hebt gekregen maar het is erg droog op dit moment. En wat ze nu aan het doen zijn is bufferen op het IJsselmeer. Dus extra water op het IJsselmeer sturen.

Franka: Kan het ook een probleem opleveren dat die stalen deuren water lekken naar de Waddenzee? Omdat ze niet goed zijn afgesloten? En qua temperatuur? Kan dat staal tegen hoge en lage temperatuur, gebeurt er dan iets met uitzetten?

Bart: Ja, ze zetten wel iets uit maar ze glijden alleen in een inkassing. Zolang dat genoeg ruimte heeft is er niks aan de hand. Daar zal vast rekening mee gehouden zijn. Maar als dat heel kritisch is, dan kan het dus het sluitproces beïnvloeden, maar dat is hier niet het geval volgens mij. Maar dit zijn echt typisch dingetjes die beheerders, dus mensen van het district, weten. Dus dat zijn ook mensen die je dat goed kunnen vertellen. Je hebt meer aan van die ouwe rotten van Rijkswaterstaat die hier al 30-40 jaar rondlopen. Die kennen alle ins en outs van zo'n constructie. Die zitten op het district, dat is midden Nederland, maar we kunnen je vast wel in contact brengen met zo iemand.

Lage temperaturen zijn volgens mij niet erg. Staal krimpt iets. Ijs is inderdaad wel een probleem, dat komt ook wel voor. Maar dan zijn ze heel actief bezig met beheersmaatregelen zodat zich geen ijs vormt. Kan me voorstellen als er ijs onder zit dat het niet goed sluit of dat er een zware belasting op ligt. Ik vind dit lastig hoor om te zeggen, ik ben ook niet echt betrokken bij het assetmanagement van deze objecten. We gaan je wel helpen de juiste mensen vinden, dat is altijd een kunst hier.

Franka: En is dat een probleem? Van slecht sluitende kleppen, is dat een probleem bij droogte?

Bart: Ja, dan krijg je zoutindringing.

Franka: En de andere kant? Water lekt naar de zee? Omdat je zo min mogelijk water wil verliezen naar de Waddenzee tijdens droogte.

Bart: Ook dat probleem wordt opgelost want de schuiven worden vervangen. Maar je kunt het wel mooi vergelijken. Of het nu een probleem is dat weet ik niet. Ze zullen nooit helemaal dicht zijn. En dan is het inderdaad wel een probleem. Want je hebt 25 spuiokers natuurlijk over 5 spuigroepen. Dus dat is wel een groot lekoppervlak om zo te zeggen.

Franka: Die zoutindringing begrijp ik nooit goed, stel je laat 1 boot door bij de schutsluizen, dat is toch ook allemaal zout water?

Bart: Ja, dat is op zich niet erg als dat zoute water maar rondom de spuisluizen blijft. Want als je gaat spuien, spui je al dat water weer terug. Maar als je een laag IJsselmeerpeil hebt, dan zul je minder moeten gaan spuien, want je wil water bufferen. Dus dan is zout wel een probleem denk ik ja. Minder water om het zout effectief weg te spoelen.

Over die golven: we kijken naar een punt heel ver in de tijd. Met de kennis die we nu hebben van de verwachte zeespiegelstijging en de veranderingen in de golfpatronen. Dat is een schatting van een punt ver in de tijd maar daar zit natuurlijk wel veel onzekerheid op. Dus wat we nu ontwerpen is best wel zwaar. Dus er moet wel echt wat veranderen wil die sluis niet meer voldoen. Daar wordt nu allemaal rekening mee gehouden. Ik weet niet of ze afgekeurd zijn op de huidige randvoorwaarden.

Tja, bij hoge temperaturen ga je minder spuien natuurlijk omdat er ook meer water nodig is voor de boeren etc., voor de landbouw en het drinkwater. Als dat onvoldoende is dan gaan de boeren zout grondwater oppompen door zoutindringing bij kwel, dat wil je niet hebben.

Iemand van assetmanagement die dicht bij de techniek staat kan je hier meer over vertellen. Ik mis trouwens de bediening en besturing.

Franka: Ik heb er wel over nagedacht maar ik denk niet dat dat beïnvloed wordt door het klimaat, misschien blikseminslag. Ik wilde me meer richten op de onderdelen zelf.

Bart: Het slaat een beetje op het gebruik van sommige onderdelen. Zoals ervoor kiezen om die schuiven af te wisselen. En efficiënter in de vorm van decharge capacity. En als straks wel de spuicapaciteit verhoogd is dat je ook keuzes kan maken om er maar een paar te openen. Per situatie wordt gekeken wat het best is en die keuzes worden wel in het ontwerp meegenomen. En die allemaal in je bedienings- en besturingssysteem zitten.

Franka: Staan er ook bepaalde schuiven vaker open dan anderen?

Bart: Je zou je kunnen bedenken dat in het midden van de waterstroom het hardst stroomt. Dus daar kun je het meeste water kwijtraken dus die moeten sowieso open. Maar ik weet niet precies hoe men dat hier ziet.

Franka: Als je kijkt naar die capaciteit, kun je er makkelijk meer pompen o.i.d. bij zetten of is dit wel bijna de max.

Bart: Dit is wel bijna de max, het is nu vrij robuust ontworpen omdat je nog best wel lang uit de voeten kunt met spuien maar die pompen zijn echt voor de zekerheid. En waarschijnlijk gaan we straks ook zien in beheer en onderhoud dat die pompen meer aangaan om ze operationeel te houden, in plaats van dat ze echt noodzakelijk zijn. In dat opzicht is het heel adaptief. De extremen komen meer naar voren en dat is een belangrijk effect. Zij hebben het op hun manier benaderd en een keuze gemaakt en dat betekent niet dat die keuze goed of fout is, maar dat betekent wel dat het misschien nog iets bijgestuurd moet worden als dat nodig is. We moeten zeker tot 2050 alles aankunnen. Misschien zeggen we dan wel dat het IJsselmeerpeil omhoog moet. Want die Afsluitdijk is best sterk. We hebben gezegd dat de Afsluitdijk niet kapot mag, want dan krijgen we ten eerste waterinstroom en onder de meest extreme omstandigheden, met scheefstand, kunnen er andere dijken bij Lelystad maximaal belast worden en als die golven dan ook nog door kunnen dringen vanaf de Noordzee...ja, dat is de worst-case-scenario. Dan zou bij Lelystad een dijk door kunnen breken terwijl er bij de Afsluitdijk misschien maar een klein gat is.

Franka: Kun je meer spuigaten bijmaken?

Bart: Binnen het project is bewust gekozen om het monumentale karakter van deze uitwateringsluizen te behouden. Want anders krijg je meer een Oosterscheldekering-principe. In de tusseneilanden komen nu extra spuigaten, dus die worden zo veel mogelijk weggemoffeld als het ware. Want de karakteristieke torens moeten nog zichtbaar blijven. En dat geldt ook voor het gemaal, die is ook weggewerkt.

3. Joost Gulikers – Concrete

6th of August 2018

Franka: Ik zou eerst graag wat willen weten over het onderhoud van betonnen constructies in het algemeen. Want u bent betonspecialist?

Joost: Ja, ik zit op die duurzaamheid. In de betekenis van durability.

Franka: Hoe wordt beton onderhouden en hoe ziet dat onderhoudsprogramma eruit?

Joost: Ik ken het niet in detail maar wij ontwerpen en bouwen voor 100 jaar. Alleen de Afsluitdijk is niet echt goed gedefinieerd. En zoals het in de norm staat is dat met gepland onderhoud, maar geen grootschalige operaties. Dat komt erop neer dat we minimaal onderhoud hebben en dat is ook het streven nu. Nog steeds voor 100 jaar, maar we proberen alleen onderhoud uit te voeren als het nodig is omdat het ook veel economische consequenties heeft, we moeten de brug afsluiten enzovoort. Het wordt ook meestal zo gepland dat je het kunt combineren. Dus niet van; ok we zien schade, we grijpen meteen in. Maar we kunnen misschien beter even wachten en dat combineren met andere dingen. Voegen moeten om de 10 jaar vervangen worden en als we dan bijvoorbeeld 3 jaar zouden wachten kunnen we het met iets anders combineren. Daarop wordt dat eigenlijk afgestemd.

Franka: Dus er is niet echt een bepaalde regel van om de 10 jaar moet er echt dit en dit gebeuren?

Joost: Nee.

Franka: Welke problemen treden er dan vaak op bij beton?

Joost: Wapeningscorrosie dat treedt vaak op met als gevolg afgesprongen dekking. En dat is vaak te wijten aan dat het niet zodanig is uitgevoerd zoals het in de norm staat. Dus dat zijn vaak uitvoeringsfouten die een rol spelen. En het is ook te laat ingrijpen bij lekkende voegen bijvoorbeeld. Als je daarachter komt is het eigenlijk al te laat en er wordt dan ook vrij lang gewacht met ingrijpen. En dat zit vaak op plekken waar je moeilijk bij kunt komen en inspecteren. Dus dat zijn vaak dingen waar je problemen mee krijgt.

Franka: Speelt dat ook bij de Afsluitdijk?

Joost: Dat weet ik niet precies maar daar zijn ook stukken gerepareerd waar ook te weinig dekking op zat. Maar voor de normen van die tijd, 1932, ging dat op een hele andere manier. Dat ging met heel weinig dekking, dat is de dikte van het beton op de wapening, dat was veel lager, ook door gebrek aan ervaring en de vraag hoe lang moet het meegaan. Zolang je 10-20 jaar niks ziet zal het wel goed gaan, vaak duurt dat dan wel langer. Daar is gewoon na een aantal jaar veel schade opgetreden maar dat is maar op beperkte plekken. Dat is aan de onderzijde van de brug, dus daar valt het feitelijk ook wel mee. Maar die staat er ook al 80 jaar. Een paar jaar geleden was er een gerucht dat er ASR zou zijn, alkali-silica-reactie, dat is een expansieve reactie tussen het toeslagmateriaal en de chemische bestanddelen en dan gaat het dus zwellen en dan drukt het alles kapot. Dus dat is een ander schadenomeen. Dat was toen wel een hele toestand want als je ASR ziet dan heb je het overal zitten. Dat is ook als je veel vocht hebt.

Franka: Hoe wordt dat veroorzaakt dan?

Joost: Dat is reactief toeslagmateriaal wat erin zit, dus in feite heb je een verkeerde keuze gemaakt voor de samenstelling.

Franka: Maar dat was puur omdat ze er niet genoeg van wisten?

Joost: Ja, tot en met de 80er jaren hebben wij gedacht, we hebben het nooit, want we hebben geen reactieve toeslagmaterialen want, wat wij hebben komt allemaal uit de Rijn en de Maas. Nou alles wat reactief is, is allemaal al foetsie, dat bestaat allemaal niet meer. Er is ook grind geïmporteerd uit andere landen. En het voordeel wat wij hebben en wat ook met je sustainability een rol gaat spelen met die CO₂-uitstoot, is dat wij heel veel hoogovencement gebruiken.

Franka: Wat is dat precies?

Joost: Het standaard-cement in Europa en ruig Portland-cement. Dus dat is gewoon mergel wat je verbrandt als calciumcarbonaat en dan krijg je dus ook het probleem dat je calciumoxide krijgt. Van die CaCO₃ gaat dat de lucht in. Dus dat is ook het hele grote probleem. Ze willen het aandeel Portland-cementklinker terugbrengen en een van die mogelijkheden is dat je er andere dingen bijgooit zoals vliegashoogovenslak en zo zijn er wel meer.

Franka: En zo wordt het dus meer sustainable?

Joost: Ja, in de richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken hebben wij een bepaling staan dat er minimaal 50% slak moet worden toegepast. Maar de zeesluizen in IJmuiden is de eerste constructie in Nederland waar we hoogoven-cement hebben toegepast en daar was toen ook veel verzet tegen maar dat heeft allemaal goed uitpakt. Het voordeel is ook dat hij minder warmte genereert, hij reageert veel langzamer. Dus cement is eigenlijk twee componentenlijm, je hebt cement en water. En als dat heel snel reageert krijg je warmteontwikkeling en dan moet het weer afkoelen en krijg je temperatuurspanningen.

Franka: Wordt dat hoogoven-cement dan ook gemaakt in de hoogovens van IJmuiden?

Joost: Nee, daar wordt die slak gemaakt. Als je het chemisch bekijkt: je hebt een activator nodig om het te laten reageren; OH- om de slak te laten reageren. Die OH- min wordt geproduceerd door de Portland-cementklinker, dus je hebt die component nodig. Ook zijn ze bezig met zogeheten geo-polymeren. Dan heb je die Portland-cementklinker helemaal niet meer nodig, en dan gooi je er een scheut natriumhydroxide bij. Dus dat is nu de truc, alleen nu krijg je weer het probleem dat als iedereen op hoogovenslak of vliegashoudstof overgaat, dat we daar niet genoeg van hebben. En als je het wil hebben ga je de staalindustrie weer promoten, en wordt de milieubelasting toegeschreven aan het staal. Dus dat is eigenlijk ook oneerlijk. En dat heb je eigenlijk ook met de vliegashoudstof, dan ga je weer naar de kolengestookte centrales.

Franka: Oh, ja dan wordt de verdeling eigenlijk alleen maar anders.

Joost: Ja, ze zijn nu bezig met andere type bindmiddelen. Maar wij doen standaard altijd 50 procent slak met goede ervaring.

Franka: Komt dat ook in de level-blocks? De betonnen blokken als dijkbeclading.

Joost: Ja, dat zal ongetwijfeld hoogoven-cement zijn. Van hoogoven-cement is bekend dat dat veel beter presteert in het maritieme milieu, dat is veel dichter, reageert langzamer en is beter bestand tegen aantasting.

Franka: En was er nou ASR?

Joost: Nee, die was er in heel beperkte mate, daar hoefde de aandacht niet meer op gericht te worden, meer op wapeningscorrosie. Hoewel dat daar ook heel beperkt is, zeker voor zo'n oude constructie.

Franka: En als je betonrot hebt, wat is dan de oplossing voor het probleem?

Joost: Meestal is het dan de wapeningscorrosie, dus je wapening is aan het roesten. Dus of je moet de dekking vervangen en dan met ander materiaal, dat wat beter bestand is. Een alternatief is als de schade nog niet zo heel vergevorderd is, om dan kathodische bescherming toe te passen. Dat gaan ze nu ook doen bij de Afsluitdijk heb ik begrepen. Dat is een elektrochemische beschermingstechniek. En dan hoef je alleen de locaties, waar het beton loszit, te vervangen door een geschikt reparatiemortel. En dan komt er kathodische bescherming, dan wordt er dus gelijkstroom opgezet zodat die wapening beschermd wordt.

Franka: Dan staat er stroom op de wapening?

Joost: Ja, dat is hetzelfde wat ze ook bij damwanden doen, dan heb je een edelmetaal en een onedel metaal. En als die roest dan is staal een onedel metaal, en dan zet je er een nog onedeler metaal aan vast, zoals zink of aluminium en die gaat dan elektronen afgeven aan het staal en daardoor ga je de potentiaal verlagen van het staal en wordt het beschermd. Dat kun je ook doen met een stroombron, dan ga je het echt regelen, dan sluit je het aan op het net, alleen dat is wisselstroom dus dan heb je weer allemaal gelijkrichters nodig. En dan krijg je continu dat er elektronen in de wapening worden gepompt. Dan wordt de potentiaal dus negatiever.

Franka: En waar gaat dat gebeuren bij de Afsluitdijk?

Joost: Ik heb begrepen bij de bovenzijden van de brugdekken. Maar dat is nog niet duidelijk, het stond bij de adviezen. En ik geloof dat ze het ook bij de spuisluizen gaan doen. Het alternatief is de hele constructie vervangen, dat kost ook kapitaal. Het heeft alleen als nadeel dat je moet blijven controleren, dus dat heeft de beheerder liever niet. Die wil gewoon een oplossing hebben en dan er niet meer naar hoeven te kijken. Met deze techniek moet je ieder jaar controleren, bijregelen en dat soort dingen.

Franka: Maar er gaat vast weinig stroom overheen? Hoe zit dat met energieverbruik?

Joost: Dat is minimaal, dat kan gewoon met een paar zonnepaneeltjes, dan heb je al voldoende. Je moet alleen uitkijken dat ze niet worden gejat.

Franka: En die CO₂-concentratie in de lucht, wat betekent dat nou in zo'n constructie?

Joost: Als je cement produceert dan heb je dus gewoon de mergel, het calciumcarbonaat en dan ga je die branden en dan gaat de CO₂ de lucht in. In feite krijg je nou het omgekeerde als je een betonconstructie in de praktijk hebt. Gewapend beton bestaat uit een combinatie van drie elementen, beton is goed bestand tegen drukspanningen, maar erg

slecht tegen trekspanningen. Dus dan neemt het staal die spanningen op. Het tweede argument is dat beton en staal vrijwel dezelfde temperatuur-uitzettingscoëfficiënt hebben. En het derde is dat als je in beton, met echt cement een hoge pH krijgt, dus een alkalisch milieu. En dan gaat het staal niet roesten. Als je staal bijvoorbeeld gewoon buiten zet, dan roest het. Maar omdat het alkalisch milieu is roest het niet. Maar als je dus CO₂-indringing hebt, dan gaat hij die pH omlaag brengen. Dat heet carbonisatie, dat is als de CO₂ uit de lucht in de poriën van het beton trekt. De pH was oorspronkelijk 12.6 of hoger.

Franka: Maar er zit toch sowieso al CO₂ in de lucht?

Joost: Ja, maar dat gaat dus ook heel langzaam. Het is ook bekend dat het gebeurt, alleen dat gaat heel traag. Dat betekent dus ook dat de dikte van je betonlaag genoeg moet zijn zodat het binnen die 100 jaar niet bij die wapening kan komen. Dus we hebben er eigenlijk amper last van omdat wij voldoende dekking hebben.

Franka: Als je kijkt naar klimaatverandering, zie je dan ook echt al een verschil?

Joost: Ja, daar houden ze nu al rekening mee. Met de Europese normen, omdat de CO₂-concentratie veel hoger wordt en hij dus sneller in gaat dringen. Dat betekent dus dat je meer dekking nodig hebt. Daar wordt dus nu al rekening mee gehouden, plus dat je nu ook nieuwe bindmiddelen hebt, die veel meer buffercapaciteit hebben.

Franka: Dit probleem speelt dus alleen bij gewapend beton?

Joost: Ja, je zou ook kunnen zeggen als je roestvaststaal gebruikt, heb je het probleem ook niet, maar niemand wil het doen. Want iedereen wil het op de traditionele manier doen. Je zou ook kunnen zeggen we zetten een coating op het beton, maar dat gebeurt ook niet. Iedereen kijkt naar de traditionele oplossing, terwijl andere dingen misschien wel gunstiger kunnen uitpakken. Alles afwegende.

Franka: Speelt het nu ook bij de Afsluitdijk?

Joost: Nee, daar heb je het voordeel dat je in een vrij nat milieu zit en dan zijn je poriën vaak al volledig gevuld met water en dan gaat die CO₂ helemaal niet meer naar binnen. Je hebt een droog milieu van 60-70% dan gaat het relatief snel, maar dan is het weer te droog voor wapeningscorrosie, dus je moet afwisselend nat-droog, nat-droog hebben.

Franka: Die CO₂-concentratie kan ik gewoon laten voor wat het is bij de Afsluitdijk?

Joost: Ja, maar door chloride-indringing kan je ook wapeningscorrosie krijgen. En vanwege die chloride zit je dekking vaak al zo hoog dat je nooit problemen gaat krijgen met je carbonisatie.

Franka: Waar komen die chlorides dan vandaan?

Joost: Die komen uit het zeewater. Maar op de weg wordt ook met zout gestrooid dus dat dringt dan in het beton en dan kan het ook bij de wapening komen, daar kan het dus ook van komen. Er zijn dus twee oorzaken voor wapeningscorrosie: je pH-waarde gaat omlaag vanwege die CO₂-indringing, of je krijgt chloride-indringing en dan krijg je het gevecht tussen het OH⁻ die het staal wil beschermen en het chloride is de aanvaller, de verhouding tussen die twee is bepalend. Maar op een gegeven moment gaat het gewoon beginnen. En dat is het gevaar met chloride, want dat zie je niet aan de buitenkant, dat duurt vrij lang. En soms is de wapening al weggevreten en dan heb je nog niks in de gaten.

Franka: Wisten ze wel al van die chloride-indringing toen ze de Afsluitdijk bouwden?

Joost: Ja, dat wisten ze al wel.

Franka: En als je kijkt naar andere klimaateffecten, zoals temperatuur, heeft dat effect op beton?

Joost: Op het aantastingsproces heeft het wel invloed dat gaat wel sneller, chloride-indringing gaat sneller. Met 10 graden temperatuurstijging wordt je indringingsproces met een factor 2 versneld. Ook het corrosieproces gaat sneller, dus daar zou je dan ook rekening mee moeten houden.

Franka: Moeten we daar in de toekomst rekening mee houden?

Joost: Nou ja, die ene graad of 2 zal wel meevallen. Je hebt natuurlijk altijd een dempend effect bij de extremen, maar als het gemiddelde twee graden hoger gaat zitten dan merk je het wel.

Franka: Qua uitzetten van materiaal, is dat erg? Wordt het zwakker bij grote temperatuurverschillen?

Joost: Nee, wat je verwacht bij klimaatverandering is daar geen probleem. Daar zit je bij de Afsluitdijk toch in de buurt van het water dus dat blijft constanter qua temperatuur.

Franka: Met een hittegolf zou er dus niks aan de hand zijn?

Joost: Nee.

Franka: Als je kijkt naar alle betonnen onderdelen in de verschillende assets. Als je kijkt, ziet u dan dingen die we nog niet behandeld hebben, maar waar wel iets mee kan gebeuren of interessant kan zijn?

Joost: Nee, ik zou niks kunnen bedenken.

Franka: En als je kijkt naar adaptiviteit, is daar iets over te zeggen bij beton?

Joost: Wat versta je onder adaptiviteit?

Franka: Stel het voldoet niet meer, kan je het dan makkelijk aanpassen?

Joost: Nee, dan zou je naar prefab moeten gaan, en die onderdelen vervangen. Alles bij de Afsluitdijk is vrij uniek dus je kunt het bijna niet aanpassen. Het is allemaal aan de omstandigheden daar aangepast.

Franka: Dus het is helemaal niet adaptief?

Joost: Nee. Waar we hier ook mee zitten is de vraag hoe lang willen we nog met die Afsluitdijk doen. Die 100 jaar is ook maar zo maar verzonnen, daar heeft ook niemand over nagedacht. Als je weet dat een constructie nog maar 10 jaar meegaat neem je bepaalde maatregelen, dat hebben we nu ook met kathodische bescherming gezegd. Dan heb je het wel over 20 jaar minimaal. Terwijl als je zegt het hoeft maar 5 jaar mee te gaan, dan hou je het in de gaten en dat is het.

Bij de Oosterschelde kering is 200 jaar gevraagd. Daarvan kun je ook zeggen waarom 200 en niet 500? Gebouwen in Oslo 300. Niemand weet echt waarom. Bepaalde dingen zijn zo bedacht.

4. Bart Bartelds – Motorway

3rd of August 2018

Franka: Om de hoeveel tijd vindt groot onderhoud plaats van de weg?

Bart: Dat hangt een beetje af van de definitie van groot onderhoud, maar over het algemeen wordt eens in de 15 jaar de deklaag vervangen en soms dan ook nog een laag daaronder. En 25 jaar ongeveer de hele constructie. Maar over het algemeen komen we daar niet echt aan toe, want tegen de tijd dat we daaraantoe zijn gaan we vaak al weer verbreden of verbouwen. En dan valt het niet meer onder groot onderhoud. Als je dit echt zou willen weten kan je beter bij een andere afdeling zijn.

Franka: Wat zit er dan wel allemaal in het periodiek onderhoud?

Bart: Kort cyclisch vervangen wij hier en daar wel kleine stukjes asfalt. Als het erg slecht is dan 50 meter eruit en erin, dat soort dingen. En eventueel ook nog een beetje markering erbij. Hangt er een beetje vanaf hoeveel tijd er is. Want onderhoud beperkt de verkeersruimte. Het mag niet altijd of het is maar heel beperkt, alleen in het weekend bijvoorbeeld. En dan kun je niet veel doen. Dus dat is beperkend. Budget is ook beperkend, er moet wel geld voor zijn. Vaak wordt dat opgebost, een tijdje terug was dat bij Amsterdam zo. Dit jaar of volgend jaar gaat dat weer gebeuren. Dat ze de zuidelijke ring van Amsterdam eruit halen. Dat doen ze dan een hele zomer lang. Dan doen ze ook echt alles en dan zouden ze voor 20 jaar klaar moeten zijn. Maar dat is dus in Amsterdam of Rotterdam, maar ergens in de buurt van Groningen zal dat minder snel gebeuren. Omdat het daar veel minder druk is.

Franka: Omdat die weg minder snel beschadigd?

Bart: Ja, dat maar ook de verkeershinder is veel minder. Omdat er veel minder verkeer zit. Dus dan kan je bijvoorbeeld al het verkeer op één rijbaan kwijt. Daar is wat meer speelruimte. Dus dat bepaalt sowieso al hoe groot onderhoud georganiseerd wordt.

Franka: Ik heb de weg onderverdeeld in verschillende onderdelen. Ik heb gezegd: Asfaltaag, betonnen laag daaronder en regenwatersysteem.

Bart: Bedoel je hiermee beton?

Franka: In deze doorsnede is dat de fundering, dat bedoel ik daarmee. Is dit zo compleet?

Bart: Als het om klimaat gaat? Voor de vangrail heb je alleen roest en dat heeft weinig te maken met het klimaat. En daarbij is de Afsluitdijk ook niet heel erg representatief omdat je daar een zoutklimaat hebt en dan roest het sneller.

Franka: Is roest ook schadelijk voor de bodem?

Bart: Roest, dat denk ik niet. Zink wel en er zit zinkverf op. Maar of dat als gevolg van het klimaat eraf gaat of dat dat gewoon gebeurt, dat weet ik niet.

Franka: Door meer overslag zou het kunnen gebeuren.

Bart: Dat is minimaal, want zo vaak gebeurt niet. In principe treedt het niet op. Dus de kans op overslag is niet zo heel groot. Dus ik denk dat het niet heel erg van invloed is. Onderbouw wel, die mist.

Franka: Dat is iets anders dan concrete layer?

Bart: Als dit het maaiveld is dan leggen wij de weg meestal hoger. Dit is dan de bovenbouw.

Franka: En daar ligt het asfalt en de fundering.

Bart: Ja, en de rest is zand en dat noemen we de onderbouw. Ik zal daar nog een plaatje van sturen hoe wij dat opgedeeld hebben. Wat klimaatwijziging wel doet is dat je tijdelijk en ook plaatselijk grotere buien krijgt. En wij hanteren hier een bepaalde maat ten opzichte van de grondwaterstand. Omdat als het water te dicht bij het zandlichaam komt en het zandlichaam verzadigd raakt met water dan wordt het vloeibaar en dat wil je niet, want dan gaat je weg aan de kant. Dus wij hanteren een zekere hoogtemaat ten opzichte van grondwaterspiegel. En met grotere buien zou die maat tijdelijk kleiner kunnen worden waardoor je schade aan je weg zou kunnen krijgen. Voor de berm geldt hetzelfde. Hiervan is een stukje, dit is zand, dit is aarde, hier kunnen dingen in groeien. Dit geldt eigenlijk hetzelfde als voor de onderbouw. Het kan ook verzadigd worden of er kunnen dingen in groeien.

Franka: Die berm kan uitspoelen bij overschot aan water, kan hij ook uitspoelen door een tekort aan water?

Bart: Dat kan want er zit gras in en als dat heel lang heel droog is dan kan dat gebeuren, maar ik denk dat we dat voorlopig nog niet gaan merken.

Franka: Het geldt ook voor de toekomst.

Bart: Dat klopt. Het zou ook nog kunnen, maar gras kan wel heel veel hebben. Maar het zou wel kunnen. Met name dat het gras doodgaat en dan bij de eerstvolgende regenbui wegspoelt.

Franka: Als je kijkt naar deze 5 onderdelen, gaat het vooral om het asfalt.

Bart: Ja, wel qua kosten.

Franka: En de berm wordt ook onderhouden?

Bart: Ja, die wordt gemaaid.

Franka: En het regenwatersysteem. Doen jullie daar ook iets aan? Want ik kon nergens vinden hoe dat precies zit bij de Afsluitdijk.

Bart: Dat weet niemand haha. Nee, de Afsluitdijk ligt in dakprofiel. Dat betekent dat je hier water naar toe hebt stromen. Daar zitten kolken en die stromen naar het IJsselmeer.

Franka: Wat zijn kolken precies?

Bart: Kolken verzamelen water, daar stroomt water vanaf bovenin. Die zitten in de stoeprand bijvoorbeeld. En putten zitten midden in de weg en aan het riool.

Franka: Om de zoveel meter ligt dan zo'n gat en die gaat via een buis onder de weg door?

Bart: Ja en dat principe komt wel weer terug, alleen het verdwijnt in de middenberm en dan watert het daarnaartoe. Direct naar het IJsselmeer.

Franka: Voeren jullie daar ook onderhoud aan uit?

Bart: Ja, die maken onderdeel uit van het systeem, dus die moeten ze werkend houden.

Franka: Zijn ze weleens verstopt?

Bart: Ja dat kan, wat je vaak ziet is dat bij oude leidingen, die zijn van steen en klik je in elkaar. Dat breekt weleens en dan stroomt er allemaal zand in en dan blokkeren ze. In de kolken spoelt altijd wel een beetje zand mee, dus als je er niks aan doet dan verstopt dat. En dat zal als gevolg van het verdwijnen van gras en het uitspoelen kan dat erger worden. Alhoewel ze meestal aan de bovenkant zitten, maar het kan wel. Ja, je hoort weleens dat er een groot gat in de weg zit. Vaak zit daar een buis onder de weg die kapot is waardoor steeds een beetje zand ingespoeld is. Dan krijg een gat in je asfalt. En wat je ziet is dat we al ontwerpen op veel zwaardere buien voor het nieuwe ontwerp. Dat is landelijk, niet alleen voor de Afsluitdijk. De buien waarmee we rekenen zijn al veel zwaarder dan eerder. Je ziet al met een steeds grotere regelmaat dat de buien aangepast worden.

Franka: Dus de faalwijzen worden voornamelijk beïnvloed door zware buien?

Bart: Ja, asfalt zou ook kunnen door hoge temperatuur, dat kan vloeibaar worden.

Franka: Bij welke temperatuur gebeurt dit ongeveer?

Bart: Dat weet ik niet, het is eigenlijk altijd vloeibaar en kan altijd een beetje vervormen. Maar ik weet niet bij welke temperatuur dat van invloed is. Ik weet wel iemand die je daarbij kan helpen. Bij Rijkswaterstaat werkt een hoogleraar part time Asfalttechnologie. Ik zal haar naam naar je doorsturen.

Franka: Bij de Afsluitdijk wordt ook dicht asfalt gebruikt en doen ze dat alleen maar omdat het een zoute omgeving is? Waarom is daarvoor gekozen?

Bart: Ik denk om de zoute omgeving ja. Ik weet niet precies hoe het zit, maar volgens mij is wettelijk vastgesteld dat wij zoab moeten gebruiken. En er is onder andere voor de Afsluitdijk een uitzondering gemaakt, maar dat is al een hele oude uitzondering, dus ik denk dat dat te maken heeft met het zoute klimaat. Het zou ook kunnen komen omdat we de deklaag van de dijk gebruiken als dijkbekleding in geval van overstroming. De dijk moet overslagbestendig worden. Dat betekent dat er water overheen kan stromen, maar dan moet er geen corrosie plaatsvinden en dat doe je door te verharden. De verharding van de weg is in dat geval ook de dijkbekleding. En dat zoab daar minder functioneel is, dat zou ook nog kunnen, maar dat weet ik niet.

Franka: Omdat het water daar niet goed wegzak?

Bart: Het zou er dan inzakken maar dat weet ik niet. Ik principe gebruiken we 'dab' op de Afsluitdijk en ik denk dat dat gevoeliger is voor temperatuur dan zoab, maar dat weet ik niet zeker.

Franka: En als je verder kijkt naar de temperatuur, is er dan ook een kritisch punt wat problemen kan veroorzaken?

Bart: Ik denk dat het voor de berm meer de periode is als de piek. En voor het asfalt ook denk ik, omdat je echt opwarming moet hebben en als het een dag heel warm is dan denk ik niet dat het door de constructie doordringt. Extreem koud is zoab wel gevoelig voor, maar dat is niet relevant voor de Afsluitdijk. Omdat water uitzet. Maar daar heeft de Afsluitdijk geen last van. Het overige denk ik ook niet. Want hemelwaterafvoer is in principe droog, want al het water moet eruit spoelen.

Franka: Is het ook zo dat als het rain drainagesysteem kapot is, dat er dan water op de weg kan liggen?

Bart: Ja, uiteindelijk zal er water op de weg komen te staan. En de hele wegconstructie is in de combinatie van veel water en lage temperaturen ook gevoelig. Als er veel water in de grond zit en het is koud krijg je ook opvriezing en kan er schade ontstaan. Die overslag is in principe niet heel erg want we strooien er ook zout overheen, dus het kan wel zout hebben.

Franka: Als we naar het laatste onderdeel gaan, adaptiviteit. Hoe lossen jullie de gevonden problemen op?

Bart: Die zouden op kunnen lossen door de weg hoger te leggen maar dat doen we niet. Dan ga je mee met de stijging van het grondwater. Er wordt nu gedacht in zijn algemeenheid om het grondwaterpeil hoger te houden omdat het zo droog is. Om een beetje meer buffer te hebben. Dat betekent dat de grondwaterstand ook weer dichterbij je constructie komt. Wij doen er niks aan behalve een nieuw hemelwatersysteem aanleggen. Dat is een groter systeem dat meer kan afvoeren, dus grotere buizen.

Franka: En ook al is hier een hele harde bui, dan kan het hemelwaterafvoersysteem het nog wel aan en komt het grondwater niet te hoog?

Bart: Nou dat grondwater wordt ook bepaald door de omgeving en in principe wateren wij altijd af naar de omgeving. We laten water wegstromen over het maaiveld. Dat komt kan in de sloot en vanuit de sloot stijgt je grondwatervniveau.

Franka: Dus met een hoog IJsselmeerpeil wordt het grondwater ook hoger?

Bart: Ja, dan zal dat ook hoger worden. Maar wij bouwen natuurlijk extra afvoercapaciteit in verband met het IJsselmeerpeil en de klimaatverandering. In principe zou het IJsselmeer niet hoger mogen worden.

Franka: Ja, maar je hebt wel bepaalde pieken.

Bart: Ja, dan zou het nog wel iets omhoog kunnen.

Franka: Zijn die problemen ook aanwezig bij het nieuwe ontwerp van 2020? Als jullie de weg niet verbogen eigenlijk wel dus?

Bart: Ja.

Franka: Is dat ontwerp adaptief als je kijkt naar de weg? Zou je hem achteraf nog kunnen verbogen bijvoorbeeld?

Bart: Ja dat kan, maar dan moet je gewoon een nieuwe weg bouwen.

Franka: Klopt het ook dat dit dakpanprofiel gaat stoppen en er komt een ander profiel in de weg?

Bart: Ja dat klopt, de middenberm komt omhoog. Het water wat hier nu valt stroomt dan vanzelf naar het IJsselmeer. En wat daar opgevangen wordt moet onder de weg door naar het IJsselmeer. Alleen stroomt het allemaal één kant op.

Franka: Hoezo is het dakpanprofiel dan niet meer goed?

Bart: Het is afwijkend van wat gangbaar is. De knikken rollen altijd naar buiten op de rijbaan. Soms verandert het omdat het een oude weg is en op een andere manier gebruikt is of omdat het in een bocht is. Dus het is ietsje veiliger. Qua onderhoud is het ook makkelijker omdat je nu in de middenberm kolken moet reinigen en moet je twee rijstroken afzetten. Straks hoeft je als je de kolken wil reinigen nog maar 1 rijstrook af te zetten.

Franka: Is dit dan ook zo bedacht vanwege de wateroverlast?

Bart: Nee, dit is heel oud. Op de Afsluitdijk was bedacht om een weg met 2 rijstroken aan te leggen met een spoorbaan. Later is dat veranderd in een autosnelweg. En die hebben ze dan op dezelfde manier gebouwd. Dat is bijna 60 jaar oud. Tegenwoordig doen we het gewoon anders.

5. Menno Rijkers – Outlet sluices

20th of August 2018

Franka: Om de hoeveel tijd vindt groot onderhoud plaats van de spuisluizen?

Bart: Haha, dat hangt af van wanneer er geld beschikbaar is. Normaal gesproken is groot onderhoud aan beton eens in de 30-40 jaar. En tussentijds alleen als daar aanleiding voor is. Groot onderhoud wordt niet gepland omdat het jaartal verstreken is, maar omdat nodig wordt gevonden dat een maatregel wordt uitgevoerd, omdat er schade ontwikkelt waar we wat aan moeten doen. En we weten uit ervaring dat je aan zaken als carbonisatieschade en chloridecorrosie eens in de zoveel tijd aandacht moet besteden. Dus dat is eens per 30-40 jaar.

Franka: Is bij de spuisluizen vooral het beton waar je op moet letten bij onderhoud?

Menno: Ja, voor de civiele constructie wel en voor het staal, de schuiven, gaat het vooral om conservering. En bijgekomen problemen. Vroeger deden we nog niks aan vermoeiing. Dat hebben we inmiddels wel geleerd dat dat wel moet. Conserveringssystemen bestonden heel vroeger gewoon uit het insmeren van koolteer; de beschermingsduur daarvan is ongeveer recht evenredig met de laagdikte. Daar hoefde je verder niet al teveel over na te denken, dus goed dik eroverheen kwasten en dan kon je weer een tijdje vooruit. Met de systemen nu weten we dat, in zoet water, 20-25 jaar is wel te doen. Zout water ietsje minder, maar dan heb je ook eens in de 15-20 jaar. Daarvoor zou je eigenlijk even bij Carolien Nieuwland langs moeten lopen. Die werkt ook bij ons op de afdeling. Dat is de conserveringsspecialist, die kan je daar wat meer over vertellen. Maar ja, in zout water gaan die systemen dus wat minder langer mee dan in zoet water. En de Afsluitdijk zit natuurlijk net op de grens van zoet en zout.

Franka: Ze gaan om en om open toch?

Menno: Ja, maar de aanleiding daarvan is anders, dat heeft te maken met de aangroei. Dat water zit vol met leven dus dan krijg je pokken en mosselen. Dus als je een schuif een maand boven water laat, is alles wat erop zit dood. En dan valt het er weer af. In de zomer hebben ze het regime van in de ene maand met de Noorderschuiven spuien en de andere maand met de Zuiderschuiven spuien. In de maand dat de schuiven boven water staan valt de aangroei er weer af. En zo kun je het leven buiten de deur houden. Wat wij doen met die constructies is, die beschermen tegen het klimaat, daar zitten ook al die biotische factoren in. Omdat het daar kan, met twee sets schuiven, kun je ervoor kiezen om het op die manier te doen. Als je maar één set schuiven hebt dan heb je die keuze niet. En zou je eens in de zoveel tijd aangroei moeten verwijderen.

Franka: Ik heb de spuisluizen verdeeld in verschillende onderdelen. Is dit zo compleet of kunnen er bepaalde dingen samen?

Menno: Dat hangt er een beetje vanaf waar je naar kijkt. Waar heb je je verdeling op gebaseerd?

Franka: Ik wilde kijken per onderdeel wat er gebeurt in combinatie met die klimaateffecten hier, zonder dat het er teveel zouden worden en dus te veel werk, maar dat ik ook niks oversla. Met die 'scour capacity' bedoel ik het stortebed. Discarche capacity is meer een functie inderdaad, ik moet nog kijken hoe ik dat ga verwerken in mijn onderzoek. De berekeningen zijn te ingewikkeld en die kan ik niet zelf doen. Voor nu heb ik het gewoon als hoog en laag IJsselmeerpeil neergezet. Maar het valt er wel een beetje buiten, maar ik moet het wel benoemen.

Menno: Behalve als je eigenlijk vermoedt te zeggen, dat klimaatverandering invloed heeft op het gebruik van het object en dat daardoor onderhoud wordt beïnvloed.

Franka: Dat IJsselmeerpeil is een lastige kwestie en die heb ik voor nu even zo gelaten. Met 'concrete structure' bedoel ik de hele gang waar het water door stroomt en 'foundation' bedoel ik de palen hieronder.

Menno: Je weet dat we die alleen in Kornwerderzand hebben?

Franka: Ja.

Menno: In hoofdonderdelen heb je het hier wel mee te pakken. Je kunt natuurlijk ontzettend ver verfijnen, dan kan je aan de hand van de norm een decompositie maken. Als je daarop zou willen aansluiten, is die onderverdeling er wel gewoon. Walter heeft die wel ergens liggen. En dan kan je op een bepaald niveau van die decompositie aansluiten op wat er al ligt. Dan hoef je niet zelf het wiel uit te vinden. Dan is het voor een beheerder straks interessanter om er wat mee te doen. Die decomposities zijn allemaal verdeeld in niveaus. Want als je nu iets maakt wat een beheerder nog moet knopen aan wat er al is, dan heeft hij daar dus een vertaalslag te maken waarin weer dingen verloren kunnen gaan.

Franka: Kunnen we voor nu wel werken met deze onderdelen?

Menno: Ja hoor.

Franka: Dan wil ik graag weten wat als je kijkt naar die aparte onderdelen, om de hoeveel tijd hebben die dan vervanging nodig?

Menno: Nou, vervangen zijn ze nog nooit. De 'steel cables' wel. Oorspronkelijk waren het geen stalen kabels maar kettingen. Maar die zijn in de jaren 50 vervangen. Toen zijn dus ook de omloopschijven vervangen. Want dat machete niet meer. De trommels zijn mee vernieuwd. Want ook dat machete niet meer. Maar de schuiven zijn nog oorspronkelijk, net zoals de betonconstructie. Die is ook wel al een paar keer flink gerenoveerd. Dus fundering, daar is nog nooit wat aan vervangen logischerwijs. Stortebed aan de buitenzijde dat is wel een enorm zorgenkindje geweest. Al vlak vanaf de ingebruikname hebben ze al na vijf spuigangen dat ding weer buiten gebruik gesteld. Omdat alles wegspoelde.

Franka: Maar dat stortebed lag er al wel?

Menno: Je moet niet vergeten dat toen dit is aangelegd, in de jaren 30, was dit een enorm project. Na de hongersnood was er behoefte aan meer zelfvoorzienigheid in voedsel verbouwen. Dat is samengekomen in een heel groot plan, dat ging om inpolderen van het IJsselmeer. Dat was gericht op landbouwgrond en zoetwatervoorziening creëren. Om daar boer te worden moest je door een strenge keuring. Om daar te mogen pionieren, moest je door een hele zware commissie. Er is dus gezegd, we denken dat het kan, maar we weten het niet. Het in beeld brengen van de bodem was veel werk, er zijn ook proefprojecten gedaan. Er is een dijk gemaakt door het Amsteldiep van de kop van Noord-Holland naar het eiland Wieringen om te kijken of we zo'n zee-arm konden maken. Toen is dus de Wieringermeer ingepolderd. Toen konden ze de zeebodem droogleggen en moesten ze uitzoeken hoe de grond vruchtbaar werd voor landbouw. Er zijn belastingproeven gedaan bij Kornwerderzand om te kijken hoeveel belasting de bodem aan kon. Daar is dus uitgekomen dat dit moest kunnen. Er is ontworpen tot en met om uit te zoeken hoe ze alles het beste op konden bouwen. Langzamerhand is dat uitgerold en dat is een gigantisch karwij geweest. Er is ook een complete rijksdienst voor geweest. Dat is nu allemaal onderdeel van directie Midden Nederland. Tot de laatste reorganisatie hadden we nog een aparte directie IJsselmeergebied maar die is samengevoegd met directie Utrecht. Maar goed, dat is een ontzettende geschiedenis geweest. Maar dat is dus wel gedaan met de stand van de techniek destijds. Dan komen we weer terug op die stortebedden, ze hebben ook destijds in Duitsland proeven gedaan over hoe die bodembescherming eruit moest zien. Maar dat was ook allemaal naar de techniek van toen. Daar is dus iets uitgekomen, dat is gemaakt, en vervolgens spoelde dat in no-time weg. Toen hebben ze met de verschijnselen die ze buiten zagen, het schaalmodel in het lab een heel eind verder kunnen ontwikkelen. En daar is veel van geleerd. Maar dat hielp dat moment voor buiten natuurlijk niet zoveel. Maar wat er op dat moment naar buiten is gekomen is dat ze dus toch de boel in gebruik gingen nemen en hebben ze honderdduizenden kilo steen in de spuikommen gestort om dat uiteindelijk stabiel te krijgen.

Franka: Er ligt dus steen gestort? Ik dacht betonnen platen.

Menno: Eerste stukje zijn betonnen platen. Die zijn voor een deel onderspoeld en daar zijn weer boringen doorheen gezet. Want je hebt dus hier aan de buitenkant eerst betonnen platen en aan het einde van die betonnen platen zit dus een dubbele damwand. Dus die dubbele damwand is deels onderspoeld geworden en die holtes zijn ook weer volgegooid met materiaal, maar oorspronkelijk was dus voorzien dat er wel een geultje zou komen, maar niet die kommen tot NAP -30. Dat was destijds ver buiten wat ze verwachtten.

Franka: Moet daar af en toe nog steeds steen bij worden gestort?

Menno: Ja, halfjaarlijks varen ze erlangs en op basis van de verschillen van de vorige keren wordt bepaald of we iets moeten doen of niet. En er gaan nog steeds periodiek ettelijke tonnen steen het water in. Dat zijn ook geen kinderachtige steentjes hoor, de zwaarste sortering die er in zijn gegaan, dat zijn gewoon stenen van 1000+ kilo.

Franka: En als we de toekomst vaker moeten spuien dan zou je ook verwachten dat je vaker die stenen bij moet storten?

Menno: Dat hangt vooral af van hoe groot de piekdebieten worden. We hebben met een stijgende zeespiegel, kortere spuivensters. En ook kleinere spuivensters in hoogte. En dat betekent dat je spuivensters korter worden en minder intensief. Dan mag je dus verwachten dat je behoefte aan steen bij storten afneemt. Aan de andere kant betekent dat weer wel, dat je peilbeheer op het IJsselmeer een stuk complexer gaat worden. Want we hebben altijd naar behoefte gespuid. En als we minder ruimte krijgen om te spuien, terwijl de behoefte niet afneemt, in tegendeel. Betekent dat dus dat je meer water niet kwijt kan op het moment dat je dat wil. Dat betekent dat je vaker een IJsselmeerpeil hebt dat hoger is dan je beheerpeil. Is dat erg? Op zich niet, want meer dynamiek is in elk geval goed voor de natuur. En als dat betekent dat het wat vaker die Noordwaard onder water staat waardoor al die woelmuizen verzuipen, dan is dat vervelend voor die muizen, maar dat hoort dan kennelijk bij de natuur. Zo krijg je dus allerlei conflicterende belangen. Maar de aanleiding voor dit enorme project wat nu loopt is dus omdat we met die spuicapaciteit in de toekomst niet meer uitkomen en we daar wat mee moeten. We hebben heel lang gedacht, dat er een enorme spuisluis bij moest komen om in kortere tijd wel al dat water kwijt te kunnen. Totdat er op een gegeven moment is gezegd van misschien kunnen we er beter een gemaal bijzetten. Weliswaar met lagere pieken, maar wel onafhankelijk van het

buitenwater wanneer we water kwijt kunnen, maar ja dat kost dan dus energie en dat heeft ook impact op het milieu, maar het feit dat je weer onafhankelijk wordt van de tijd, heb je niet meer die paar uur per etmaal dat je water kwijt kan, maar heb je 24 uur dat je water kwijt kan. En dat betekent dat je ook met kleinere debieten kunt en dat is waarschijnlijk ook weer gunstig voor die bestaande spuikommen. Want het is veel minder intensief. Wel weer met wat nuances, want je kunt de waterstraal langs het oppervlak sturen maar ook langs de bodem. Dus via de bodem krijg je alsnog die belasting op de bodem. Maar dat kunnen ze wel zo sturen dat dat niet gebeurt, daar gaan we vanuit dat dat wel te doen is. Maar al dit soort zaken grijpen heel erg in elkaar. Als we vaker maar kortere spuiensters hebben dat betekent wel meer beweging met de schuiven, dus een intensiever gebruik van bewegingswerken, staalkabels en dat soort dingen, dus dat kan wat meer werk betekenen in onderhoud en vervanging van die dingen. Maar bij de huidige bewegingswerken staan de originele tandwielkasten er nog. Van inmiddels dik 80 jaar. Machines bij ons slijten in het algemeen harder van poetsen dan van gebruiken. Twee keer daags een paar minuten draaien is wat anders dan een machine in een fabriek die de hele dag aanstaat. En de manier waarop je zo'n machine moet onderhouden die is wel heel anders dan wat je nu doet met een moderne machine. Want het zijn machines uit een tijd dat het heel gebruikelijk was dat er gewoon iemand was die continue aan het smeren was. Er waren altijd mensen aanwezig en als ze tijd hadden deden ze onderhoud. In de stille uurtjes ging de sluismeester over het terrein rond om op bepaalde plekken de smerleidingen een extra knijpje vet te geven. Dat moet met zo'n oud object nog steeds, daar hebben we er een hele boel van. Maar we doen het niet meer. Nu zeggen we; we hebben een onderhoudsaannemer en die moet dat doen. Maar die doet dat niet, want die komt eens in de 8 weken als het meezit en dan loopt hij alles na. Maar dat is wat anders dan iemand anders die zo'n object van A tot Z kent. En weet van; hé ik hoor iets, een piepje of een kraakje, dat was er gisteren nog niet. Het oude beeld met een monteur met een schroevendraaier aan zijn oor die hij tegen de motor houdt en hoort of de kleppen goed afgesteld staan, dat soort mensen moet je op zo'n machine zetten. En niet iemand die vandaag op het object loopt, maar de komende 8 weken allemaal andere dingen doet. Die hoort, voelt, weet en ziet niet wat die machine doet. En daardoor loop je een veel groter risico dat er onverwacht dingen gebeuren die je niet in de gaten hebt.

De Afsluitdijk die komt uit een tijd dat er heel veel aandacht was voor het beheer en onderhoud van zo'n machine. En daar was ook de tijd en de mensen waren ervoor. Nu kijken we anders tegen dat soort dingen aan. We willen gewoon dat hij het doet en we willen er de eerste jaren geen omkijken naar hebben. En dan komt er eens in de zoveel tijd iemand langs en die controleert alles dan en dat moet dan maar kloppen. En die twee filosofieën die passen niet bij elkaar. Als je die moderne filosofie wilt, dan moet je daar een machine hebben die daar bijpast. En als je die oude machine niet wilt vervangen omdat je het geld niet hebt of het geld er niet voorover hebt dan moet je die filosofie die daarbij past handhaven. En dat zijn we nu met zijn allen langzamerhand aan het ontdekken. Want we hebben best veel van die oude objecten. In de vorige eeuw in de jaren 20 en 30 is er veel gebouwd dat we nu nog gebruiken.

Die objecten beginnen nu zo langzamerhand problemen te vertonen die mede worden veroorzaakt door een andere manier van beheer en onderhoud. Dat gaat niet eens over klimaat, maar gewoon over een andere manier van er mee omgaan. Dus dat zijn dingen waar we ons zorgen over moeten maken. Maar diezelfde problematiek heb je dus ook op de draaibrug en in de schutsluizen. Want daar zie je dus ook machines in staan die gewoon origineel zijn. Daar gebeurt verder helemaal niks mee, want slijten van draaiuren maken dat gebeurt niet bij ons. Alle machines hebben slijtage maar als ze netjes worden bijgehouden zie je van slijtage op tandwielen helemaal niks, gewoon nul. We hebben ook in het verleden wat meer gemalen gehad die dan op verbrandingsmotoren liepen. Die zijn langzamerhand allemaal weggesaneerd, maar die machines zijn nu allemaal naar Afrika verscheept en die draaien daar nu eindelijk allemaal uren. Gewoon water oppompen etc. Bij ons stonden ze dan het hele jaar blinkend gepoetst en bijgehouden en dan een paar uur op een jaar moesten ze daadwerkelijk werken in het gemaal. Maar dat zijn allemaal machines van 60 jaar oud die erbij staan als nieuw. Die hebben amper uren gehad. De motor in een schip draait continu.

Franka: Zijn die lifting mechanisms helemaal vervangen?

Menno: Nou, er zijn dus wel delen vervangen, maar die tandwielkasten bovenin zijn gewoon oorspronkelijk. Vroeger had je schalmenkettingen (zeeschip met ankerketting) dat zijn die schakels die in elkaar hangen en galmenketting (fietsketting) zijn die platte plaatjes met penntjes ertussen. Oorspronkelijk had je daar schalmenkettingen en die zijn vervangen, de contragewichten zijn ook vervangen. Dat was ponsdoppenbeton en dat viel uit elkaar. Contragewichten moeten vooral zwaar zijn. Dus ze zochten zo goedkoop en zwaar mogelijk materiaal. Staal was toen duur en beton veel minder duur. Maar er was wel veel afvalstaal zoals ponsdoppen. Die voegden ze toe aan beton. Dus dat was beton met staal vervuld en dan gebruik je het beton als lijm tussen die dopjes en heb je een lekker zwaar blok. Alleen die dopjes staan bloot aan weer en wind en die gaan roesten. Roest neemt meer volume in dan niet geroest staal, dus dat drukt dat beton eraf en vallen er brokjes beton uit en komt er vers staal en beton aan het oppervlak en hou je geen contragewicht meer over.

In wezen kijk je in die constructie nog wel aardig tegen het oorspronkelijke ontwerp aan. Wat er ook gebeurd is aan het beton, is dat er chloride geïnitieerde corrosie in het gewapend beton. Dat is uitgebreid gesaneerd. Er zijn wat sporen van ASR geweest en de tijd toen we daar qua kennis nog niet helemaal uit waren. Tegenwoordig denken we dat het niet zo erg is. Die schades vallen heel erg mee. In elk blok beton van 100 jaar oud vind je ASR maar de vraag is of het een schadelijke ASR is en dat hangt heel erg samen van de snelheid van de ontwikkeling en de hoeveelheid. Maar die chloride geïnitieerde corrosie dat was dus wel een probleem, er is dus in het verleden dus wel veel herstelwerk aan gedaan. Logischerwijs zit er ook wat carbonisatieschade aan het beton. Door de inwerking van CO₂ leidt dat ook tot wapeningscorrosie omdat CO₂ de pH van de wapening omlaag haalt en het gaat roesten en uitzetten. Dit soort schades zie je dus boven water veel. En wat je dus onder water aan de pijlers kunt zien, dat is stampbeton. Dat is gewoon ongewapend, vrij schraal beton. Dat daar met de kruiwagen in is gereden en vervolgens met stampers gedicht. Dat was de bouwtechniek van toen. Wat je nu merkt is dat die metselwerkkisten, die hebben gewoon mechanische slijtage en door inwerking van vorst en dooien. Op een gegeven moment slijten die voegen weg en die desintegreren ook wat. Als je dat niet op tijd herstelt vallen er op een gegeven moment blokken uit zo'n kist.

Franka: Er was toch ook nog overheen gemetseld?

Menno: Ja, op het vlak, bovenop. Je hebt dus die funderingsplaten hier, dat is gewapend beton. Daarop zijn dus de contouren van die pijlers in natuursteen gemetseld. En vervolgens ontstaat er een bak en die is dus volgegooid met stampbeton. Over de bovenkant van de pijlers is dus weer een laag metselwerk gezet. Maar goed, je kan je wel voorstellen; er zijn ontzettend veel voegen en heel veel langsstromend water, inwerking van het weer, jaar in jaar uit. In dat langsstromende water zit ook een heleboel sediment. Dus dat heeft gewoon een schurende werking. Dus je verliest gewoon voegmateriaal, dat is het zachtste. Als je dat niet goed bijhoudt, dan verlies je dus blokken en vervolgens ligt die stampbeton bloot en kan ook uitgespoeld worden door die slijtage en inwerking van vorst en dooien. Dan krijg je holtes en wat je tot een jaar of 20-30 geleden had, was er een onderhoudsregime waarbij elk jaar twee spuikokers droog werden gezet met schotten. Daar werd gewoon klein herstelwerk gedaan. Looprails bijgewerkt, uitgesleten voegen hersteld, uitbrekende blokken opnieuw er ingezet. Dat soort zaken moet je aan denken. Dat betekent dus ook dat als je 25 kokers in totaal hebt, elke 12/13 jaar je zo'n koker zag. Je had dus hele uitgebreide rapportages van alles kokers. Dat gaf je feeling met het object. Dat gaf dus ook de mogelijkheid om te zeggen; we zien in specifieke kokers specifieke dingen of we zien in alle kokers min of meer hetzelfde en bouw je een routine op met zo'n project en dat haakt een beetje aan op wat we al zeiden met die machines. Dat heb je met die civiele constructies dus ook.

Franka: Nu zetten ze niet meer elk jaar twee kokers droog?

Menno: Nee, dat vinden ze nu ouderwets die methode. Ze hebben het uitbesteed aan de markt en dan komt de klad erin. En op het moment dat je niet meer elk jaar die kokers ziet en gaandeweg verdwijnen die mensen die af en toe nog wel die kokers zien (pensioen, ander werk etc.) en daar gaat je kennis.

Franka: Weten jullie nog wel wat de kwaliteit is van die kokers?

Menno: Ja, want we hebben dus op een gegeven moment gezegd, dat het een probleem is dat we het niet meer weten. Dus er is onlangs wel weer gekeken.

Franka: Viel het mee?

Menno: Helaas was ik er niet bij. Ik ben in 2004 nog een keer geweest maar daarna niet meer. Dat is het laatste jaar geweest dat ze het nog op die manier deden. Daarna kwamen onderhoudscontracten die op een andere manier waren ingericht. Archieven van toen destijds zijn ook niet goed overgedragen en alle mensen die de kennis hadden zijn dus allemaal weg. En die kennis is er dus niet meer. En het is een gigantische klus om het terug te krijgen. Voor ons, als het gaat om assetmanagement, een actueel overzicht van je areaal is het vertrekpunt.

Franka: Weten jullie wel iets over de kwelschermen?

Menno: Nee, die zitten in de grond.

Franka: Jullie voeren ook geen onderhoud uit?

Menno: Daar valt niks aan te onderhouden. Het enige wat je kan doen is metingen doen periodiek en dat is dus jarenlang niet gedaan. Dus dat je metingen doet om te kijken of dat object op zijn plaats blijft staan. We weten van hout, als dat in de grond zit, permanent in grondwater blijft, gaat dat meestal best wel lang goed. Maar zodra er zuurstofrijk water bij komt bij hout wat al een eeuw onder water staat is binnen no-time weg. In goed

assetmanagement hoort dus ook heel veel kennis over historische bouwkunsten te zitten. Zolang je dat soort objecten hebt in je areaal. Zelfs met gesloopte objecten.

Franka: Ik heb hier een tabel gemaakt met alle klimaatimpacts, wat kun jij erover zeggen?

Menno: Temperatuurverschillen maken voor beton en staal allemaal niet zoveel uit. Vorst- en dooi cycli wel. Dus als je zegt in de toekomst vriest het nooit meer heb je geen last meer van vorst- en dooi schade. Die schade heb je overal waar je vocht hebt en vorst en dooi.

Franka: Voor die stalen deuren maakt het ook niet uit?

Menno: Nee, indirect wel voor je conservering. Conservering is natuurlijk gevoelig voor wat het klimaat erop doet. Daardoor verouderd het. Verflagen die verkrijten door inwerking van UV-straling. Dus als je in de toekomst meer UV-belasting hebt, dan verouderen de conserveringslagen op de kunstlagen. Die zitten op staal.

Franka: Is het niet zo dat de schuiven vervangen gaan worden?

Menno: Ja, ik denk dat het nieuwe schuiven worden. Veel neerslag, weinig neerslag heeft alles te maken met wat het IJsselmeer doet natuurlijk.

Franka: Die neerslag is vooral interessant voor de weg en voor de dijk maar voor de spuisluizen gaat het meer op IJsselmeerpeil. Is het een probleem bij de spuisluizen dat de schuiven water lekken naar de Waddenzee?

Menno: Nee, ten opzichte van die plas water niet. Het IJsselmeer is 1100 vierkante kilometer. Met gemiddeld een meter of 5 diep, zeg maar.

Franka: Nou ja, je hebt er natuurlijk wel veel en als ze allemaal een beetje lekken is dat bij elkaar opgeteld misschien wel veel.

Menno: Tuurlijk lekken ze, 100% waterdicht zijn ze nooit. Maar als er een kraantje druppelt duurt het heel lang voordat je een emmer vol hebt.

Franka: Dus je verwacht niet dat dat in de toekomst een probleem op gaat leveren?

Menno: Nee, het IJsselmeer is zo waanzinnig groot, dan kan er best een beetje water naar de Waddenzee weglopen. Daar merk je niks van. Als de hele dag daar de zon op zit te schijnen dan verdampt er meer water dan dat er ooit door die schuiven lekken kan.

Franka: En andersom? Dat zout water het IJsselmeer in kan komen?

Menno: Dat is voor peilbeheer ook geen drama.

Franka: Ik bedoel als het water van het IJsselmeer heel laag staat, kun je niet spuien. En kan het zoute water niet terug worden gespuid naar de Waddenzee.

Menno: Dan krijg je een beetje zoutwaterindringing.

Franka: Is dat niet erg?

Menno: Dat hangt ervan af aan wie je het vraagt. Een natuurbeschermer vindt het niet erg. Brak is beter dan zoet of zout. Geeft meer dynamiek. De boeren willen graag zo zoet mogelijk en de industrie ook. Maar ja, als jij met je zoetwaterinname punten wat verder bij dat zout vandaan gaat zitten, dan gaat dat best. Daar zijn gewoon normen voor, voor wat het chloridegehalte mag zijn.

Franka: En kruiend ijs?

Menno: Dat wordt natuurlijk minder relevant in de toekomst. Maar kruiend ijs is van oudsher best een dingetje.

Franka: Ik hoorde dat er afgelopen jaar nauwelijks schade was.

Menno: Dat is in het verleden weleens geweest hoor. Kruiend ijs, dat kan problemen opleveren. Kruiend ijs is min of meer zo zwaar als het water zelf. En dan gewoon harde grote brokken, als dat met grote kracht over die dijk wordt getrokken krijgt die dijk daar wel wat schade van.

Franka: En is daar wel een schade bijgekomen, bij de spuisluizen daardoor?

Menno: Vooral functioneel. Kijk het geeft hier en daar ook wel wat slijtage op je conservering maar het zit hem er veel meer in of je überhaupt nog kunt spuien of niet. Als je dan al een schuif open krijgt dan loopt er nog steeds amper water doorheen. Kruiend ijs dat kan in zo'n spuigang betekenen dat je hij van boven tot onder vol zit met kruiend ijs. Net alsof je zo'n spuigang helemaal volstopt met grind. Dus de doorlatendheid van zo'n spuiwerker die neemt enorm af. En de vraag is dus als er blokken tegen die schuiven aandrukken of je hem nog wel naar boven krijgt. Kapot zal die niet zo snel gaan. Maar naar boven is wel een vraag. Dat is overigens ook een reden; vorst en ijsschotsen, dat in Kornwerderzand dat heeft ook een modificatie in de schuiven opgeleverd. Want hier zijn de bestaande schuiven met kokerliggers, in Den Oever zijn het schuiven met vakwerkliggers. En tussen de kokerliggers in Kornwerderzand zijn dus platen gezet om het insluiten van ijsschotsen tegen te gaan.

Franka: Zitten er ook niet gaten geboord in die schuiven?

Menno: Ja, dat is wat anders, dat hebben we gedaan om zeker te weten dat bij een bepaalde buitenwaterstand, als je beide schuiven naar beneden hebt, het verval voldoende verdeeld wordt. Dat heeft te maken met de sterkte van de schuiven. Dat zijn die patrijspootjes zonder glas. Een doorstroomopening. Bij gelijk water bij opkomend tij gaan beide schuiven naar beneden. Stel nou dat die Noorderschuif wel gewoon goed afdicht, dan komen ze op hetzelfde moment of kort na elkaar op de grond. Dan gaat daar het water verder stijgen en dan krijg je verval over die Noorderschuif en dan ook nog golfbelasting erbij. Vanwege die defensiebalk hier krijg je opsluiting van de golfenergie en krijg je hier grote golfklappen, nou de combinatie van die twee is schadelijk voor die schuif. We willen dus zeker weten dat voldoende van dat verval wordt afgeroomd naar de Zuiderschuif. Zodat de Noorderschuif zoveel mogelijk beschikbaar blijft om die golfenergie te keren.

Franka: Is dat ook gedaan met het oog op dat de golfbelasting steeds hoger wordt?

Menno: Nee, die golfklappen zijn daarvan oudsher al een heel groot probleem geweest. Maar oorspronkelijk is de Afsluitdijk ontworpen voor een buitenwaterstand van NAP +3.5 en een IJsselmeerpeil van wat het altijd was. Nu zeggen we maatgevend hoogwater voor de Afsluitdijk is iets van 5 tot 5.5 +. Dat verschil kunnen we daar niet keren met die Noorderschuif alleen. Dat heeft niks te maken met zeespiegelstijging. Dat heeft alles te maken met hoe er toentertijd zeer uitgebreid is berekend aan wat de zee zou doen als de Zuiderzee afgesloten zou zijn. Want toen is wel degelijk onderkend dat de getijslag op bepaalde plekken voor de Afsluitdijk groter zou worden. Als gevolg van het aanleggen van de Afsluitdijk. Je hebt namelijk dan op eens een enorme bak water die wel de Waddenzee opkomt maar niet meer het IJsselmeer op kan. Dus dat leidde tot een enorme getijslag. Lorentz heeft daar veel aan berekend. Maar er werd nog niet onderkend dat de ervaring tot dan toe, met name de stormvloed van 1916, die de aanleiding is geweest voor het aannemen van de zuiderzeewet, dat dat een storm is die helemaal niet zo zeldzaam en extreem was als dat ze op dat moment dachten. Dus er is ruim, voordat we ons realiseerden dat zeespiegel aan het stijgen was, onderkend dat die maatgevende storm voor de Afsluitdijk, een storm is van eens in de 30 of 40 jaar. Dat leidt ertoe dat we een maatgevend hoogwater krijgen die veel hoger is dan dat dat ding voor gemaakt is.

Franka: Mooi meegenomen, dat er dan twee sets schuiven zaten.

Menno: En oorspronkelijk ook nog een set puntdeuren. Die zijn nu bijna allemaal weg, er hangen er nog een paar voor "de mooi", maar daar doen we niks mee. Maar oorspronkelijk was het idee op een zomerdag, als we de natuur zijn werk laten doen, hangen we de Noorder- en Zuiderschuif boven water. En dan heb je hier puntdeuren zonder bewegingswerken maar die zouden we dan gewoon loslaten. Maar die zouden dus op het tij onder natuurlijk verval open- en dichtgaan. Dan heb je dus een lage buitenwaterstand, dan waaien ze open en dan ga je automatisch spuien, komt het water weer op, dan waaien ze vanzelf weer dicht door de stroom. Maar die deuren die waren heel licht en waren binnen de kortste keren krom of kapot. Het functioneerde in de praktijk niet goed. Maar die hebben tot een jaar of tien geleden wel daar gehangen voor zover ze er nog waren. Toen hebben we een keer gezegd alles wat er is moet weg. Op een of twee kokers na, zijn ze daar vastgemaakt en hangen ze gewoon voor "de mooi". Maar er is dus een tijd geweest waar ook bij de stormen, want bij die golfklappen bij die defensiebalken, daar zijn ze wel vlot achter gekomen, dat dat best een issue was, dat konden ze niet goed berekenen. Schattingen liepen uiteen van een hanteerbare druk tot gigantische drukken van 40 meter waterklop of zelfs nog meer. De grootste, dan hadden we het over 400 kN per vierkante meter als druk. Dat kunnen ze nooit hebben. Er is ook een tijd gezegd dat bij stormen die puntdeuren dicht moeten en die moeten dan het verval keren. En die schuiven moeten allebei een deel van de golfenergie keren. Dan zetten we de Zuiderschuif tot aan de grond en de Noorderschuif met een opening van 1,5 meter. En dan zou een deel van die golfenergie voor een deel op beide schuiven staan. Maar dan praat je over jaren 60 of 70. Maar dat is ook nu de reden dat we zeggen dat we van die defensiebalken af willen. Waterstaatkundig hadden we die überhaupt niet nodig.

Franka: En een heel hoog IJsselmeerpeil, levert dat problemen op?

Menno: Ja, dat is vervelend voor de bodembescherming, want dan wordt je spuistroom veel intensiever. En krijg je hogere piekdebieten en hogere belastingen op je stortbedden. Maar dus ook een hoger spuidebiet betekent ook marginaal meer slijtage op je voegen en op je pijlers. Maar dat zijn allemaal zaken zolang die incidenteel zijn en je doet geregeld inspecties en onderhoud, dan kun je dat redelijk in de hand houden.

Franka: Maar in de toekomst is het misschien niet meer incidenteel...

Menno: Dan zou het kunnen betekenen dat je je inspectie en onderhoudsfrequentie iets moet verhogen. Mijn inschatting is dat je met die klassieke onderhoudsfrequentie met een beetje verhoogde inspanning (meer dingetjes doen tijdens zo'n onderhoudsronde) dat je prima uitkomt. Maar het is ook niet zo dat we elke dag die extreme omstandigheden hebben. We krijgen vaker extremere omstandigheden. Maar we krijgen ook vaker periodes waarin je weken achtereen niet kan spuien. Zoals nu. Het is niet persé dat het gebruik toeneemt. Water met sediment heeft die slijtende werking als je stroomsnelheden van 5-6 meter per seconde hebt. Of meer. Maar ook dan is het een product van expositie en expositietijd. Dan is 100 uur in 1 keer, hetzelfde als twee keer per jaar 50 uur. Als ik dus minder vaak die hoge snelheden heb, maar als ze er zijn, zijn ze er langer, ja of dat nou slijtage oplevert, geen idee.

6. Menno Rijkers – Ship locks

21st of August 2018

Franka: Voor de schutsluizen heb ik dezelfde opzet voor het interview. Dus eerst wil ik graag iets weten van het onderhoud van de schutsluizen in het algemeen.

Menno: Zelfde als de spuisluizen. Dus wat we gisteren hebben besproken, dat geldt voor de schutsluizen ook. Het zijn in principe op dezelfde manier gebouwde objecten.

Franka: Zijn de schutsluizen niet wat ingewikkelder?

Menno: Nee

Franka: Ook niet meer soorten materialen?

Menno: Nee, ook niet. Het zijn allemaal stalen deuren, behalve dan de kleine kolk in Kornwerderzand, die heeft houten deuren. Voor de rest zijn het stalen deuren. Het materiaal in de sluizen zelf is gewoon weer stampbeton, gewapend beton.

Franka: En hoe zit het met die deuren precies? Want dat vond ik onduidelijk. Hoeveel sets deuren zijn er? Want je hebt ook stormvloeddeuren, welke sluis heeft dat?

Menno: Stormvloeddeuren zijn deze hier. In Den Oever heb je die niet maar daar heb je een tussenhoofd. Wat weliswaar lager is dan een buitenhoofd, maar tot bepaalde hoogwaters heb je hier dus wel een set vloeddeuren. Alle deurensets die naar de hoogwaterzijde staan heten vloeddeuren. Hier kun je dus zo'n hoofd vierkant sluiten. Dat gebeurt rond gelijk water. Deze set wordt dus normaliter niet gebruikt en die komt er pas bij als er een bepaalde storm wordt verwacht. Dus dat hadden ze hier net zo goed kunnen doen, maar daar hebben ze voor gekozen om het niet te doen. In 2012 ofzo zijn er deuren vernieuwd. In Kornwerderzand is ook weleens daarvoor een set deuren vernieuwd want die was al heel oud en toen kwam er ook een zware aanvaring op en toen hebben ze gekozen om een nieuwe set te plaatsen.

Franka: Ook hier heb ik de schutsluizen verdeeld in verschillende onderdelen. Is dit zo compleet?

Menno: Dat nivelleren gebeurt gewoon onder vrij verval. Dat is op elke sluis zo. Maar dit is verder wel compleet op hoofdonderdelen.

Franka: Dat bedienings- en besturingsstelsel heb ik er overal uitgelaten omdat ik dacht, het klimaat heeft toch geen impact daarop. Misschien de bediening zou nog kunnen.

Menno: Ja, dat klopt wel, maar goed als het gaat om onderhoud, die camera's bijvoorbeeld, dat zijn nou net wel de dingen die het vaakst vervangen moeten worden, de kortste levenscyclus.

Franka: Zitten er ook camera's bij de sluisluizen? En ook op de weg?

Menno: Ja, het is een essentieel onderdeel van veiligheidsfuncties.

Franka: Ik zou niet zo snel weten voor welke klimaatinvloeden die camera's gevoelig zouden zijn.

Menno: Tijdens heel extreem weer, en verder eigenlijk niet.

Franka: En als je kijkt naar die sluisdeuren, hoe lang gaan die mee? Bij die grote zijn ze dus vervangen.

Menno: In 2004 was ik bij de toetsing van de Waterwet en toen heb ik nergens kunnen vinden dat die houten deuren al eens vernieuwd zouden zijn voor de kleine kolk. Maar die zijn daarna wel een keer vernieuwd. De vloeddeuren die zijn nog steeds handbediend. Maar dat is ook omdat die zelden gebruikt worden. Maar voor een object dat is opgeleverd in 1937, en als je daar dan in 2004 nog originele houten deuren constateert, dan weet je dus dat die dingen heel lang mee kunnen. Maar dat waren ook deuren van Surinaams groenhout, super hout. De stalen deuren, die waren ontworpen voor 50-70 jaar en tussentijds controleer je of ze nog goed zijn. Op basis van die inspecties krijgen ze dan ook klein onderhoud. Je moet wel af en toe de conservering bijwerken of een stukje lassen. Maar grosso modo kan met normaal onderhoud en een keer opnieuw schilderen eens in de 20-25 jaar, kun je deuren dus best 50-70 jaar of langer mee laten gaan. Hydrauliek is ook typisch iets van de jaren 50, civiele onderdelen veel langer, tegen een eeuw, met weliswaar wel met onderhoud eens in de 30-40 jaar op betonwerk. Verder doet het niet zo vreselijk veel. Af en toe een keertje schoonmaken.

Franka: En lock filling en emptying system. Dat gaat dus onder vrij verval. Wat is het onderhoud daaraan?

Menno: Je hebt bewegende delen die vallen bij ons onder werktuigbouw. En bij de grote kolk heb je dus omloopriolen en bij de grote kolk heb je tunneltjes door de wanden van het sluishoofd heen, waar schuiven in zitten. Die kunnen omhoog en naar beneden. En in de kleine kolk, in Kornwerderzand en in Den Oever gaat het met schuiven in de deuren. Dat zijn gewoon bewegende delen, hydraulische cilinders of mechanische bewegingswerken en die hebben hun gebruikelijk onderhoud nodig.

Franka: En als je die sluisolk wil inspecteren, kun je hem droogzetten en inspecteren?

Menno: Dat kan met pompen ja, is in het verleden al een paar keer gedaan en dan kun je dus de kolk inspecteren en schoonmaken, de mosselen er uitbikken en slib er uitscheppen. Dat is in Kornwerderzand al die jaren hooguit 3 keer gedaan. Dat zit in dezelfde cyclus als dat groot onderhoud aan beton. In Den Oever is hij nog nooit drooggezet, we weten ook niet of het kan, hij is er niet voor gemaakt, maar we denken van wel. Maar goed, je moet je voorstellen, dat dat nogal een klus is. Dan wil je hier en hier goed waterdichte keringen hebben en dan maar pompen. Dan sluit je hem op eb en doe je alles dicht en moet je als de sodemeter flink pompen zodat die deuren wat verval krijgen en goed dicht gaan zitten. En daarna ben je een paar etmalen aan het pompen om hem leeg te krijgen. Daar zijn ook wel rapportjes van, hoe dat in zijn werk gaat en hoeveel tijd dat kost.

Franka: Zijn die ports en acces channels van hout of beton?

Menno: Inmiddels is dat allemaal staal. Oorspronkelijk waren het houten dukdalven, nu zijn het allemaal stalen drijvende remmingen. Dus het onderhoud bestaat uit coating bijwerken en aanvaringschades herstellen.

Franka: Dus die zijn ook gevoelig voor zonlicht?

Menno: Ja.

Franka: De foundation is dus ook precies hetzelfde?

Menno: Ja, daar doe je niet veel aan.

Franka: Ik zag laatst op het nieuws dat door laag water de sluisdeuren kunnen breken door het grote verschil in waterpeil. Is dat zo?

Menno: Wat kan, is voor bepaalde waterstandscombinaties en als je buiten tegen een situatie aanloopt die niet wordt gedekt door ontwerpwaardes, dan heb je dus risico's dat die deur kapot gaat. Dat is gewoon in algemene zin.

Franka: Is het weleens gebeurd?

Menno: Alleen door calamiteiten. De normale gang van zaken, dat is ook op de Maas met al die stuwen, wat ook bij Grave was. Toen moest een andere stuw ook veel meer krachten opvangen omdat die ene was bezweken. Maar die stuw was dus ook al 80 jaar oud en in de loop van de tijd was er wat veranderd. Dus daar zitten risico's in.

Franka: In theorie zou het dus wel kunnen?

Menno: Je kunt een deur overbelasten ja. Net zo goed als dat je door een stoel kan zakken.

Franka: Is dat iets wat voor kan komen bij heel laag IJsselmeerpeil?

Menno: Heel laag water bij het IJsselmeer is misschien -0,6 of -0,7 meter. Kijk, die buitenwaterstand is onder normale condities nog steeds lager dan NAP +1 meter. Want buitenwater onder normale condities op de Waddenzee zit op +0,8 bij vloed. Die objecten zijn ontworpen voor een buitenwaterstand van NAP +3,50 bij een afgewaarde waterstand IJsselmeerszijde van -1 tot -1,5 meter, dus een beetje lage waterstand door droogte, daar geeft die deur geen krimp om.

Franka: Het was wel bij de NOS, dan zou je denken dat het klopt.

Menno: Ja het kan, maar er roept iemand wat en als dat niet goed wordt gecheckt o.i.d. Ik heb dat verhaal niet meegekregen, ik denk dat ik toen op vakantie was, maar dat dat bij de Afsluitdijk gebeurt omdat het water op het IJsselmeer een beetje laag staat, is onzin.

Franka: Ik weet niet of het de Afsluitdijk was maar het was bij sluizen in het algemeen.

Menno: In zijn algemeenheid, als je buiten het ontwerpgebied komt van een constructie, dan loop je het risico dat hij in elkaar dondert. Dat is zo.

Franka: Maar het is nog nooit gebeurd?

Menno: Nee.

Franka: Is het ook een probleem als het water heel laag staat, dat het dan heel lang duurt om die boten over en weer te krijgen?

Menno: Het grootste probleem is dat je op een gegeven moment zo weinig water hebt staan, dat je dus het schip niet meer maximaal kan afladen. Een ongeladen schip steekt een meter diep en een geladen schip 3,5 meter. Maar als je nog maar 3 meter water in de kolk hebt staan, dan kun je je schip nog maar tot 2,5 meter afladen. Dan moet je een aflaaddiepte- beperking instellen en kan een schip niet zijn maximale lading inzetten en vaker heen en weer moet varen.

Franka: Dus dat gaat wel ten koste van de capaciteit, want dan komen er meer schepen.

Menno: En dat is heel geregeld ook aan de orde. Op de rivieren. Want de Waal, Maas, Rijn, IJssel en Lek staan allemaal laag. En dat is wel degelijk echt een probleem.

Franka: Het is dus niet zo dat de sluis er twee keer zo lang over doet om die schepen door te laten door laag water? Er staat geen file?

Menno: Die file krijg je doordat het aantal schepen fors toeneemt omdat je per schip minder spullen mee kan nemen. De nivelleertijd hangt wel samen met het verval over de sluizen. Maar dat kan natuurlijk ook een positief effect hebben dat hij juist minder water hoeft te spuien. Maar een schipper heeft veel liever veel water onder zijn kiel zodat hij maximaal beladen kan gaan varen, dat is veel economischer. Dus die paar minuten tijdswinst dat hem dat op de sluispassage oplevert, dat interesseert hem geen bal.

Franka: Je kan ook zeggen dat het voor de binnenvaarders goed verdienen is juist nu met laagwater. Want ze kunnen meer vragen voor hun lading en hebben extra veel werk.

Menno: Ja, maar je kunt maar een vaart tegelijk maken.

Franka: Dan maak je het duurder.

Menno: Ja, die tonprijzen gaan ook wel omhoog omdat ze per vracht minder mee kunnen nemen, maar als iedereen werk heeft dan is de hoeveelheid extra werk, die drijft de prijzen niet heel veel meer op.

Franka: En bij hoe laag IJsselmeerpeil komt er eigenlijk een bericht naar de schippers met een bericht dat ze niet te zwaar beladen mogen zijn?

Menno: Dat valt bij het IJsselmeer op zich wel mee, want zo diep zakt het IJsselmeer niet weg. Die afluaddieptebeperking zit meer op de rivieren en op de buitenwaterstand, de Waddenzee. De Waddenzee heeft zijn normale getij tussen NAP +0,8 en NAP -0,8. Maar als die dus door een aanhoudende wind verder afwaait, heb je sneller last van die drempelliging. Een heel erg verzakkend IJsselmeer gaat naar NAP -0,6. Door verdamping en dat duurt heel lang voor dat hij daar eindelijk is. Ik denk dat hij daar nu wel bijna in de buurt zit. Maar er zijn natuurlijk veel maatregelen genomen om het water Zuid-Holland in te leiden om daar de verzilting tegen te gaan. Dan wordt er vanaf de rivieren extra water naar het IJsselmeer gezet.

Franka: Dus, het is niet zo dat als het peil bij 0,8 komt dat ze dan een regeling voor de schippers instellen?

Menno: Dat weet ik niet precies, dat weet de beheerder wel.

Franka: Als je verder kijkt naar deze combinaties, zie je dan nog iets wat mist?

Menno: Ja, die klimaatverandering heeft natuurlijk effect op extremer weer. Dat extreme weer heeft op golfhoogte wel wat invloed en dat heeft natuurlijk wel wat invloed op de sluisdeuren en ook op de civiele constructie, samen met sea level rise, omdat je dus hogere toetspeilen krijgt. Op een gegeven moment kom je dus kerende hoogte te kort. En dat geldt voor de spuisluizen ook, die zijn ook primaire waterkering. Dus die hebben daardoor wel een beetje last. Maar wat we nu nog als zeespiegelstijging verwachten, dat is natuurlijk echt peanuts met het gat van het oorspronkelijke ontwerpgetal met de NAP +3,5 en dat we nu al vinden dat het NAP +5 of 5,5 zou moeten zijn. En weten dat we met die sluisen een serieus probleem hebben als de waterstanden boven de NAP +4 komen.

Franka: En heeft temperatuur ergens invloed op?

Menno: Nee, voor de schutsluis niet.

Franka: En ijs tussen de deuren?

Menno: Ja, dat wordt dan waarschijnlijk een beetje minder. Maar dat zijn geen zaken die het ontwerp of beheer heel erg gaan beïnvloeden. De verandering ten opzichte van nu.

Franka: En die sluisdeuren zouden in de toekomst niet hoog genoeg zijn, kan je die dan makkelijk vervangen?

Menno: Dat zijn ze al. En alleen de deuren aanpassen heeft geen zin, want dan loopt het erlangs over het sluisplateau. Dus dan moet je het sluishoofd zelf ook verhogen en verzwaren of dat kan binnen een bestaande constructie, dat is twijfelachtig en in de constructie zoals ze hier liggen kan dat waarschijnlijk ook niet. Ja, je kunt wel een 20 of 30 cm verhogen maar 2 meter of meer dan houdt het een keer op. Het is ook niet voor niets dat we hier nieuwe keersluizen gaan maken aan de zeezijde van de schutsluizen, om die te beschermen. En in Kornwerderzand zelfs nog voor de draaibruggen. Die gaan ervoor zorgen dat de belasting onder extreme omstandigheden rond de schutsluizen worden afgetobd. Bij een bepaald peil moeten dus de nieuwe sluisen dicht zijn, omdat we denken dat de bestaande sluisen niet meer voldoen, maar al veel eerder sluit je dan die keersluizen, omdat je vanaf een bepaald peil toch al niet meer kan schutten met die sluis. Dus dan hoeft ie voor de scheepvaart toch niet meer open en dan doen ze hem gewoon dicht en zetten de keersluis dan ook dicht. Einde schutten moet begin keren zijn. Dat peil waarop de vaarweg wordt gestremd is ongeveer + 1,8 buitenwaterstand. Maar bij dat peil gingen de stormvloeddeuren op Kornwerderzand niet dicht. Dat deden ze pas bij een veel extremere stormverwachting. Einde schutten is begin keren. En einde keren zou dus begin schutten moeten zijn. Dus je moet ook niet te snel stoppen met keren, je moet pas stoppen met keren als je weer kunt schutten. Dan laat je bedrijfsprocessen netjes op elkaar aansluiten. In Den Oever krijg je dus een nieuwe keersluis en in Kornwerderzand krijg je ten noorden van de draaibruggen een nieuwe keersluis. Dat heeft te maken met beschermd dorpsgezicht. In Den Oever hebben we ook wel overwogen om de keersluis ten noorden van de draaibruggen te leggen, maar dat zou een veel grotere en duurdere sluis worden. En Den Oever heeft geen monumentale status. Het voordeel ten noorden van de draaibruggen is dat je die ook meteen beschermd. Het is in de huidige situatie zo dat als daar NAP + 5 staat en er zitten wat golven onder, dan loop je een grote kans dat het water de draaibrug van zijn pijler tilt. En er afslaat. Dan moet je naderhand die brug weer zoeken en erop zetten. Op Kornwerderzand was de situatie wat anders. Daar was het kostenverschil wat kleiner omdat die keersluis veel kleiner kon. Daar bereik je dus mee dat je de belasting op de schutsluizen kunt controleren en aftobben.

Franka: Kost dat dan extra tijd voor die boten om erdoorheen te varen?

Menno: Nee, want die keersluis staat normaal gewoon open en kost geen extra tijd en maakt de af te leggen weg niet langer en bij stormverwachting wordt de scheepvaart stilgelegd.

Franka: Is er verder nog iets wat mist volgens jou?

Menno: Vanuit assetmanagement is er ontzettend veel meer, maar in relatie tot klimaatverandering niet zo. Dan hebben we alles wel gehad denk ik. IJsselmeerpeil heeft ook te maken met lokale situaties en die worden ook vaak beïnvloed door wind en niet zo zeer door een gemiddeld laag waterpeil.

7. Eric Regeling - Dam

28th of August 2018

Franka: Hoe ziet het onderhoud van de Afsluitdijk eruit in het algemeen? Hoe vaak vindt onderhoud plaats en wat gebeurt er dan allemaal?

Eric: Je hebt twee verschillende situaties, de situatie van het grote onderhoud zoals tientallen jaren voor de Afsluitdijk gedaan is en dat wordt dan gedaan door de beheerende club. Dat was de Directie IJsselmeergebied, nu Midden Nederland, die dat onderhoud uitvoert. Dan heb je wel een grens van wat groot onderhoud is en wat dat niet is, maar wat er gedaan is aan zichtbare, relatief grote onderhoudsklussen is bijvoorbeeld het werken aan de stortberm. Dat is het gedeelte net op de waterlijn, de grove stenen. Je hebt het talud aan de Waddenzeekant, daar heb je in de huidige situatie een basaltbekleding, die loopt ongeveer door tot aan de waterlijn en daar is die beëindigd. Daar ligt net in het water die stapel stenen. Dat noemen we de stortlijn. De stortberm, daar zijn die stenen gestort en die hebben over een periode van tientallen jaren de neiging om wat te zakken als gevolg van de golven die daarop inwerken. En ook wel als gevolg van de ondergrond die dan ook nog wat gaat zakken. Die afscherpende hoeveelheid stenen die tegen de Afsluitdijk aanligt, behoeft onderhoud en dat doe je misschien eens in de 20-30 jaar ofzo. En dan kom ik meteen op het punt van onderhoud van dat soort of frequenties, dan kan je wel nagaan dat dat bij de Afsluitdijk pas twee keer is gebeurd ofzo. In een levensduur van 80 jaar Afsluitdijk. Dus we kunnen daar niet een enorme geschiedenis van frequenties aan hangen en dat gebeurt bij meer dingen van de Afsluitdijk. Die stortberm daar is een jaar of 5 tot 10 terug een hele grote hoeveelheid nieuwe stortsteen op die plek langs de teen extra aangelegd en daar ligt nu zo'n rug stenen in het water, om er weer voor te zorgen dat dat onder normale omstandigheden de dijk beschermt. Dus dat is 1 van de maatregelen. Als je kijkt naar wat er op de dijk gebeurt aan onderhoud dan is dat het inwassen van basaltzuilen. Tussen die basaltzuilen zit ruimte, ze zijn onregelmatig qua vorm. Je wilt ervoor zorgen dat ze toch zo goed mogelijk tegen elkaar aanklemmen. Dan wordt daar fijner split tussen gegooid. Dat noem je inwassen. Eigenlijk zijn het kleine steentjes die je ertussen doet en die klemmen tussen de basaltzuilen en zorgen ervoor dat die bekleding zijn optimale sterkte heeft. Je moet er wel voor zorgen als beheerder dat die steentjes er wel in blijven zitten. Het kan zijn als gevolg van golven dat die daar overheen lopen of zetting van materiaal, dat die steentjes eruit gewerkt worden en verdwijnen. Je moet er eens in de zoveel tijd wat aanvullen. Dat zijn maatregelen die gedaan worden en ook daarvoor geldt dat dat eens in de 15 jaar is ofzo. Dat doe je niet jaarlijks. Dat is een tweede onderdeelje.

Dan heb je nog dat het zo kan zijn dat bij een inspectie blijkt dat de zuilen op die Waddenzeekant, naar IJsselmeerkant, zijn gaan verzakken. Dat kan allerlei oorzaken hebben. Geotechnisch. Maar kan ook door uitspoelen van die kleine steentjes. Eens in de zoveel tijd wil je het wel herzetten. Dat kan lokaal zijn, maar ook over grote afstanden.

Franka: Zijn die inspecties na een zware storm?

Eric: Dat wordt gedaan na een zware storm en dan kom je ook in de discussie of dat nou normaal regulier onderhoud is, of reparatie na stormschade. Daar zit ergens een grens tussen. Sommige dingen laten we gaan of zijn na een storm ook niet dusdanig erg dat we onmiddellijk moeten ingrijpen, maar na verloop van tijd zien we toch wel wat degradatie en dan wordt er dus een keer besloten om daar wat aan te doen. Die stortberm verzwaren bijvoorbeeld. Dat zijn de soort van onderhoudsdingen, met name gericht op de waterkerende functies. Dat geldt zowel voor de Wadden- als de IJsselmeerkant. Die IJsselmeerkant is wel iets minder kritisch. Maar ook daar moet het wel worden gedaan. Maar dat is dus zeker niet dat dat met een frequentie gebeurt van jaarlijks ofzo.

Franka: Is het ook zo dat ze in de winter na iedere storm even kijken hoe de dijk er voorstaat?

Eric: Na een serieuze storm zijn er wel inspecties. Normaal gesproken is het zo dat het district verantwoordelijk is voor het inspecteren. Uiteindelijk is het zo dat aan het begin van het stormseizoen wel een inspectie gedaan wordt. Dus voor het stormseizoen. Dan zie je tekortkomingen enz. en bovendien wordt na een echte zware storm wel een

inspectie gedaan. Zijn er echt schades waar we onmiddellijk wat aan moeten doen of kunnen we iets plannen, of is het wel oké. Zo gigantisch veel hele zware stormen hebben we natuurlijk ook niet he. Die dan dusdanige invloed hebben op die dijk dat je dan onmiddellijk actie moet ondernemen. Ik zit al een tijdje in het IJsselmeergebied en we hebben er misschien een stuk of 3-4 gehad in 20 jaar tijd dat er echt een zware storm was dat er ook aantoonbaar schade was. En niet eens bij alle vier. Ik weet dat we in 2007 een keer flink wat schade hebben gehad. Maar dat valt dus wel mee. Het gebeurt niet elk jaar.

Franka: Ik heb de Afsluitdijk onderverdeeld in verschillende onderdelen. Is bij zo compleet of denk je dat er nog wat mist?

Eric: Voor capacity is niet alleen de hoogte die daarop van invloed is, maar eigenlijk het hele profiel dat bepaalt hoeveel water daar tijdens een superstorm overheen zou kunnen komen. Want we staan een klein beetje overslag toe tijdens een superstorm. En dat kun je bereiken door simpelweg de hoogte te bepalen, maar het is ook afhankelijk van de taludhellingen, of er een berm inzit of een ruwheid van de bekleding. Dat alles bepaalt gezamenlijk of er meer of minder water over die kruin gaat tijdens de superstorm. Dus ook de combinatie van het profiel. Verder mis ik voorland, dat kan nog weleens iets zijn. Het ondiepe gedeelte vlak voor de dijk.

Franka: Dat is niet die stortberm?

Eric: Nee, het ondiepe gedeelte. Als dat voor een dijk ligt, niet specifiek bij de Afsluitdijk, stel als het in de Waddenzee 4 meter onder NAP is, dan kan het zo zijn dat je naar de dijk toe een voorland, dus verhoging hebt die maar tot -1 ofzo reikt en die breekt al wat golven. Dat is soms een onderdeel en tegenwoordig steeds meer wat wordt meegenomen in de berekeningen van het hele samenspel van golven op de dijk en overslag.

Franka: Ik wil graag per onderdeel weten hoe dat zit met onderhoud en vervanging. Een paar dingen hebben we wel gehad denk ik, zoals bekleding. In principe gaan die dus lang mee.

Eric: Ja, die bekleding ligt er al vanaf het begin. Ze blijven er ook liggen maar we gaan er met een nieuwe laag overheen bij de nieuwe dijk.

Franka: En bij die structure? Daar kan weinig aan gebeuren toch?

Eric: Nee, dat is feitelijk eeuwigdurend materiaal. Je zou geotechnisch zetting en afschuiving kunnen hebben, maar als het goed is, is daar bij het ontwerp van de dijk goed over nagedacht. Die zettingen treden wel op, maar in verloop van tijd zijn die zettingen verwaarloosbaar. Dat is bij de Afsluitdijk wel het geval. Dus over de gehele tijd is wel iets gaan zetten vanaf 1930, het is iets lager geworden en vervormd. Maar op een gegeven moment stopt dat wel. Je doet bij je ontwerp je best om te zorgen dat het niet afschuift. Dat gebeurt ook niet bij een goed ontwerp. Dat is nog nooit gebeurd bij de Afsluitdijk dat er opeens een hele hoop zand ofzo er afschoof. Het zou kunnen gebeuren aan de binnen en buitenkant, maar dat heeft er vooral mee te maken dat het niet goed is ontworpen bij de te verwachte stormomstandigheden die we opleggen.

Franka: Dat zou dan dus al wel gebeurd zijn?

Eric: Nou nee, we hebben nog nooit een zwaardere storm gehad tegen de Afsluitdijk aan dan in 1953. Dat zijn de zwaarste geweest en dan kom je op het vlak van wat stel je voor norm voor die dijk. Die zware storm is nog nooit opgetreden. Alleen één eens per 100 jaar storm. We ontwerpen voor eens per 10.000. Dus als je zo'n norm hebt, ja dan doe je dat op basis van papier en rekenregels. De echte proef is nog nooit geweest.

Franka: Heeft dat zinkwerk nog een functie?

Eric: Ja, dat heeft wel een functie. Dat dient ervoor om te zorgen dat de stortberm en andere stenen die je op je onderwatertalud hebt, niet te veel in de anders onbeschermd bodem zouden zakken. Je legt een kraagstuk of zinkstuk op de onbeschermd zanderige bodem en dat zorgt ervoor dat dat zand niet kan uitspoelen. Als je niets zou doen, dan kan het gebeuren dat een deel van het onderwatertalud gaat eroderen. Door stroming of golven dus die zijn bedoeld om je onderwatertalud daar waar nodig vast te houden. Bovendien is dat kraagstuk de basis voor stortsteen die daar weer bovenop komen te liggen. En die verweren wel. We hebben gezien dat na 80 jaar een aantal van die stukken er wat minder bij liggen. Maar ze liggen er nog wel steeds.

Franka: En die teenconstructie, dat is hetzelfde als die stortsteen?

Eric: Nee, die varieert wat. Er zijn verschillende uitvoeringen. Als je naar de Afsluitdijk kijkt aan de Waddenzeekant, dat geldt voor veel dijken uit die tijd ontworpen door Lely, zie je dat daar sprake is van een buitentalud. Dan nader je de NAP-lijn (je waterlijn), dan ga je daar een verticale beëindiging neerzetten. Daarboven zit allemaal basalt, die

beëindiging gaat verticaal naar beneden, die zijn niet diep. Dat is een palenrij van 1,80 diep ofzo. Die verticale beëindiging die zorgt ervoor dat je je basalt netjes kunt beëindigen en aan de waterzijde van die palenrij ga je dan ook je stortbarm neerleggen. Die zorgen er gezamenlijk voor dat alles wat op het talud ligt niet gaat zakken. Dus je voorkomt dat dat naar beneden glijdt en dat noem je dan een teenconstructie. In de nieuwe opzet voor 2020 komt daar niet zo'n verticaal scherm, maar is het meer een steenachtige constructie die de teenconstructie is. Dus daar heb je verschillende uitvoeringen van.

Franka: Zit die ook aan de IJsselmeerszijde?

Eric: Ja.

Franka: Maar daar wordt niet meer onderhoud aan uitgevoerd, aan het zinkwerk en teenconstructie toch?

Eric: Nou dan moet je ze dus helemaal weghalen en dan wat nieuws neerleggen. Zolang je daar geen aanleiding toe hebt, dat je ziet dat er basismateriaal erodeert, dan ga je ervan uit dat dat goed genoeg is. En dat gaat dus ook heel lang mee. Dat is niet een frequentie van eens in de 5 jaar.

Franka: En dat voorland wordt daar wel zand bijgegooid?

Eric: Dat kan. Dat gebeurt niet bij de Afsluitdijk hoor, maar op andere plaatsen kan dat wel gebeuren. Je kan dat ook doen door dat wat vast te leggen met stenen ofzo.

Franka: Ik heb klimaatinvloeden en die heb ik verdeeld. En wil dan kijken per onderdeel en klimaatinvloed wat er kan gebeuren. Om te beginnen vroeg ik me af of die basaltstenen kunnen breken door temperatuurverschillen of iets anders? Die steentjes kunnen misschien uitspoelen als het materiaal uitzet?

Eric: Nee, dat is niet aan de orde. Van basalt ken ik niet de invloeden van hoge temperaturen. Ik heb het nooit meegemaakt. We kennen weleens dat we basaltzuilen hebben gezien, er wordt dan gezegd door UV-straling, dat ze er slechter uit gaan zien. Maar dat kan ik niet goed duiden hoor. Dat weet ik niet zeker voor basalt. Ik zou zeggen, als we het hebben over basalt, lijkt me die daar zeer weinig gevoelig voor.

Franka: En grote temperatuurverschillen? Zou dat wel kunnen?

Eric: Voor basalt niet. Niet dat ik weet. Voor andere soorten steen wel. Dan is het ook niet alleen de temperatuur, maar ook vochtinwerking. Je hebt ook bepaalde soorten Belgische bloksteen, een soort leisteen. En dat kenmerkt zich door een gelaagde constructie en daar hebben we wel meegemaakt, dat het waarschijnlijk mede door weersinvloeden, er delen vanaf breken. En soms gebeurt dat in de verticale zin en is die gehalveerd, dat is nog niet zo erg. Maar horizontaal, dan gaan er hele schollen van af. Dan wordt dat blok dus een stuk kleiner. En dat komt wel door temperatuur en vocht. Weersinvloeden in zijn algemeenheid, of die invloed dan erger wordt in de sfeer van klimaatverandering, dat is dan weer een ander verhaal. Dat kan ik niet overzien.

Franka: Basalt heeft daar dus geen last van.

Eric: Basalt niet nee.

Franka: En die structure is die ergens gevoelig voor?

Eric: Nee, zeker niet in de kern van de dijk.

Franka: Dat zinkwerk en teenconstructie?

Eric: Nee, ook niet.

Franka: Innerslope?

Eric: Ja, voor zover het 't gras betreft, dat is een bekende discussie. We hebben nu het voorbeeld, dat moet je in de gaten houden. Dat is een kwestie van temperatuur en neerslag.

Franka: Die grasmat wordt alleen gemaaid toch?

Eric: Ja, dat is het onderhoud.

Franka: Ook omdat die kleilaag al dat zand op zijn plek houdt als er overslag is toch?

Eric: Ja, dat is de combinatie van het gras en de kleilaag. Onbegroeide klei is algemeen wat minder goed. Met gras kun je dus wat meer overslaand water toestaan. Als de graskwaliteit echt verslechtert als gevolg van droogte en hoge temperaturen, dan heb je een minder goede kwaliteit van het totaal.

Franka: Is er de afgelopen weken ook gespreid bij de Afsluitdijk voor de grasmat?

Eric: Nee, alleen bij veendijken. Daar is natuurlijk een hele andere situatie met ander materiaal. Bovendien heeft dat ook te maken met afschuiving. Dat is een heel ander verhaal.

Franka: En als je eerst een droge periode en dan een hele harde regenbui hebt waardoor het gras wegspoelt. Is dat problematisch?

Eric: Op papier misschien wel, dat wil je liever niet. Ik kan me niet heugen dat dat ooit aan de orde is geweest. Dit was een voorbeeld van een droge zomer en het is niet aan de orde. Als dit nu gebeurt in augustus hebben we sowieso geen stormen. Een daadwerkelijke waarneming van de verslechtering van die binnenkant zien we wel, maar de combinatie van een golf die daar overheen komt hebben we niet. We hebben wel proeven en er zit wel kennis in, maar de echte test of ie werkt op de Afsluitdijk, hebben we niet. Wat het dichtst daarbij in de buurt komt zijn de golfoverslagproeven van Deltares. En daarvoor is dan wel gekozen dat een tijdstip van proeven gedaan wordt wanneer de graskwaliteit zo matig mogelijk is. Dus dat zou je nog het best erbij kunnen leggen. Op 1 september moet hij op zijn best zijn en dan kom je net uit de zomer, dus er is wel een mogelijkheid dat er een storm is in combinatie met slecht binnentalud. Maar verder hebben we daar weinig ervaring mee.

Franka: In 2085 kan het misschien wel vaker voorkomen?

Eric: Ja misschien, dat weet ik niet.

Franka: En nog een dingetje wat ik was vergeten. Over die lage temperaturen had ik ook kruiend ijs bijgerekend. Dat zou natuurlijk ook minder voor kunnen komen in de toekomst. Is daar vroeger weleens schade door ontstaan?

Eric: Nee, kruiend ijs is zo'n heel raar ding. Bij constructies bij de spuisluisen wordt er wel in de ontwerpen rekening mee gehouden dat het ijs zo goed mogelijk kan worden afgevoerd. Maar als je kijkt naar de dijk, dan is in de meest extreme situatie kruiend ijs wel tot hoog op het binnentalud gekomen, onlangs nog en dan kan het een keer tot wegniveau zijn gekomen, maar het schuift gewoon over die bekleding heen en het heeft nooit echt hele grote ellende opgeleverd. Het is iets wat je niet wilt en als het door zou zetten dan is kruiend ijs zo sterk dat niets het meer tegenhoudt. Maar we doen daar maar weinig aan. Bij de stortberm kan het wel zo zijn dat door kruiend ijs een aantal van die stenen mee omhoog worden geduwd en die vind je dan later daarboven terug. Maar als dat met een paar stenen gebeurt en niet met de hele stortberm, dan gaat je constructie nog niet meteen naar de Filistijnen. Dus er gebeurt weleens iets, maar er gebeurt nou niet meteen iets heel ergs. Het heeft bij de dijk nog nooit echt tot hele grote problemen geleid.

Franka: En als je kijkt naar dat IJsselmeerpeil, die heb ik ook als klimaatinvloed neergezet, is het zo dat als het peil heel laag komt te liggen en dat zinkwerk ligt bijvoorbeeld bloot, is dat dan schadelijk? Nu ligt het peil bijvoorbeeld ook heel laag.

Eric: Nee, dat gaat niet gebeuren. Nee, dat moet wel heel heel laag zijn. Als we nu praten over - 40 als streefpeil, dat halen we meestal niet. Dat zit meestal op - 30 of - 25. Maar goed, - 40 is wat we op papier kunnen hebben en daarbij zie je niets van die kraagstukken. Die zijn nog steeds afgedekt door al die stenen die hier allemaal liggen. En dan zou dit peil naar heel laag moeten gaan, wil dat bloot komen te liggen. Nee, dat kan niet. Zelfs niet bij een halve meter lager. En dat zie ik niet gebeuren. Zelfs gelet op klimaatveranderingen, zelfs een halve meter naar beneden zou gaan. Dan eerder omhoog. In mijn beleving gaat die halve meter niet gebeuren. Maar zeg nooit nooit. Maar met de informatie van nu is dat niet een scenario waar we rekening mee houden.

Franka: Dus dat IJsselmeerpeil heeft weinig invloed op de dijk?

Eric: Een hoog IJsselmeerpeil, als dat het gevolg zou zijn van klimaatverandering, want dat is dan ook weer even het punt, je kunt een hoog peil treffen wanneer je het water niet hebt kunnen lozen op de Waddenzee. En daarom gaan we in onze versterking over op pompen en extra spuicapaciteit zodat we dat peil nog even op de gewenste hoogte kunnen houden. Dat blijft nog tot 2050 staan geloof ik.

Franka: Je kan natuurlijk wel pieken hebben of de verkeerde windopzet.

Eric: Ja, maar dat is niet het peil, dat is de lokale waterstand.

Franka: Ja, weet ik.

Eric: Dus dat zijn wel verschillen en dat gebeurt. Je hebt met stormen te maken wanneer je scheve waterstand hebt. Ik hou het dus wel altijd uit elkaar. Het ene is wind gedreven en het ander is afvoer gedreven van de rivieren.

Franka: Als je hier lokaal een heel hoog peil hebt?

Eric: Dan nog is het zodanig met de stormen die we tot nu toe in de afgelopen 80 jaar hebben gehad, weinig gebeurd. Weleens wat schades geweest, bekleding beschadigd of verzakkingen lokaal en dat is hersteld. Dat gaan we bij de komende versterking ook weer op een aantal plekken doen, maar dat heeft dan ook weer te maken met normen. En dat is ook weer een andere invalshoek. Dat blijft ook gelden voor de Afsluitdijk. We hebben een onderhoudsverhaal, maar we hebben ook een normeringsverhaal. Voor de Waddenzeekant geldt een 10.000ste storm en de IJsselmeerzijde is een 1.000ste. Dus dat is een minder zware belasting. En het IJsselmeer heeft min of meer een constant peil, dus de golven zijn kleiner. Dat zijn dubbelop-effecten. Een lagere norm, de golfinvloed en waterstandsvariatie is anders dan wat hier gebeurt.

Franka: Als je kijkt naar zeespiegelstijging, met hogere golven en een hogere zeespiegel, beschadigt de dijk dan ook sneller?

Eric: Nee, dan heb je dus het verschil tussen het onderhoudssituatie en het ontwerp voor je genormeerde situatie. We hadden het net over onderhoud, wat is er de afgelopen jaren gebeurd, als we nu kijken naar waar moet die dijk eigenlijk tegen kunnen, dan doen we dat op basis van die randvoorwaarden die door die maatgevende stormsituatie gesteld worden. En wat we nu gaan doen voor de versterking voor de Afsluitdijk is dat we dat ontwerp gaan afstemmen op die 10.000ste stormomstandigheden, inclusief klimaatveranderingen. Dus zoals we nu ontwerpen, dan zeggen we dat we de dijk zodanig hoog en sterk maken dat die de belastingen door golven en hoge waterstanden kan weerstaan. Dan gaat er geen steentje af, om maar zo te zeggen. En we doen het zelfs zodanig zwaar, dat die bekleding ook bij de veronderstelde klimaatveranderingen (hogere peil, hogere golven) dan ook sterk genoeg is om met schade 0 ook in 2050, 2070, 2100 de storm kan weerstaan. Dat is het uitgangspunt van de versterking, ook het formeel willen voldoen aan de veiligheidsnormen.

Franka: Dus die bekleding, die er komt te liggen, die level blocks, die zijn helemaal onderhoudsvrij?

Eric: Ja. Zeg nooit nooit, misschien kan er wat onderhoud nodig zijn, maar in principe worden ze zodanig ontworpen, het hele profiel van de dijk, de level blocks en de quattro blocks op het boventalud en de bekleding op de berm, al die onderdelen worden zodanig ontworpen dat we al rekening houden met de golven en waterstanden die horen bij de superstorm 1 op 10.000ste plus de verwachte klimaatveranderingseffecten, die daar hun effect op hebben. De extra hoge waterstanden en de extra hoge golf.

Franka: Die effecten kunnen ook altijd meer zijn.

Eric: Ja, het houdt een keer op natuurlijk. Als dat zo zou zijn, dan blijkt ooit dat de voorspellingen van onze golven onder die omstandigheden net niet toereikend waren. Dat zou kunnen.

Franka: Als dat het geval was zou je makkelijk die dijk nog wat hoger kunnen maken? Of sterker of breder? Als je kijkt naar adaptiviteit?

Eric: De adaptiviteit die we er nu in hebben, is dat we dan de mogelijkheid hebben om het binnentalud nog meer overslagbestendig te maken. We hebben nu de uitgangspunten van de gegeven veiligheidsnorm en de scenario's die we meenemen. Dus wat ik net zei. Dat we op basis van die twee, level blocks onderop, asfaltbekleding en quattro blocks en de kruin van de dijk zo hoog moet zijn dat er niet meer dan 10 liter water overheen mag komen. Dat is hoe we nu ontwerpen. Die 10 liter water dat is een maat voor het nog veilig kunnen toestaan voor die kleine hoeveelheid water die er nog overheen gaat, want die grasmat met klei aan de binnenkant is zodanig sterk dat hij die 10 liter wel kan hebben. Als we nou te maken krijgen met een rekenkundige situatie waarbij zou blijken dat over een paar jaar die klimaatveranderingsmarge, die wij nu op 80 cm hebben gezet, niet 80 moet zijn maar 1,60 m dan zou dat betekenen dat die hoeveelheid water bij de maatgevende storm, niet meer 10 liter, maar 20 liter is. En dan zouden we dus in het binnentalud dat gras kunnen vervangen door een asfaltbekleding met een dun laagje gras. Dat is dan de adaptiviteit, dan kun je je buitentalud laten zoals hij is. En de kruinhoogte ook. Zolang de overslag in de orde van 20 liter is, dan zou je als adaptieve maatregel kunnen denken aan het verharderen van dat binnentalud. Zo hebben we het nu voor ogen. Maar ook dat kent zijn grenzen natuurlijk. Als het een toename is van 10 naar 300 liter, dan heb je wel een probleem. Het houdt een keer op.

Franka: Aan de IJsselmeerkant komen geen level blocks toch?

Eric: Daar komen de betonnen varianten van basalt. Dat komt wel op ongeveer de helft van de bekleding van de IJsselmeerszijde. Tussen Den Oever en Kornwerderzand daar komen allemaal level blocks op het ondertalud en op boventalud hebben ze quattro blocks. Dat zijn betonnen op basalt lijkende zuiltjes. Tussen Kornwerderzand en de Friese kust daar komen geen level blocks op het ondertalud. Daar komen boven en onder quattro blocks. Dat zijn de verschillen.

Franka: Maar dan zou je dus, mocht het niet meer voldoen, ook nog level blocks onder kunnen leggen.

Eric: Dat zou kunnen als sterkte van de bekleding daar het probleem zou zijn. Als hoogte van de kruin het probleem is dan helpen die level blocks daar niet tegen. Dan moet je je dijkprofiel hoger maken of ruwer. Dan helpt het niet om alleen maar level blocks toe te passen.

Franka: Want die kruin kan je nu niet meer zo makkelijk hoger maken?

Eric: Op het grote gedeelte tussen Den Oever en Kornwerderzand niet nee. We hebben gezegd die weg en fietspad willen we niet verplaatsen. Als je hem dan wil verhogen moet hij verbreed worden naar buiten toe. Dus dat doen we nu. Dat was ook een strikte maat van niet verder dan 15 meter naar buiten toe. Maar je kunt niet zomaar naar binnen toe dan, want daar liggen die wegen. Dus is verhogen lastig. Je hebt niet alleen hoogte nodig, maar omdat je een talud hebt, heb je ook breedte nodig. Dus dat gaat niet. Vandaar die adaptieve maatregel van binnentalud versterken, door de asfaltlaag, dat is een optie. Normaal gesproken zou je gewoon verhogen, dat kan wel, maar in dit geval heb je ruimte nodig aan de binnenkant. En dat hebben we nu niet. Als je dat zou willen moet je de weg verplaatsen.

Franka: Dan wordt het dus een heel ander ontwerp weer. Nog een dingetje. Hebben jullie gemerkt dat de afgelopen jaren, omdat de zee omhoogging en de golven zwaarder, dat de dijk sneller aan onderhoud toe was?

Eric: Nee. Merk je niks van. Het heeft er vooral mee te maken dat we de dijk ontwerpen voor die superstorm-omstandigheden. Een eens per jaar waterstand is een waterstand van 3 of 3,5 meter als gevolg van een storm. Terwijl die superstand 5,5 meter is, dus dat zijn nog hele grote verschillen. Wat er de afgelopen tientallen jaren aan zeespiegelstijging is gebeurd dat zijn nog steeds kleine stormpjes. Dat is het lastige van dit vak, je rekent met zulke kleine kansen. Je hebt maar een beperkt aantal praktijksituaties. Dat is weleens lastig. De versterking van de Afsluitdijk in de krant en ook door onszelf, staat dat we de Afsluitdijk zouden versterken omdat het klimaat verandert, maar dat is niet zo. De normen zijn verscherpt, sterker nog, de Afsluitdijk had nooit een norm. Toen Lely hem bouwde waren er nog geen normen, dus we hebben hem nog nooit aan een wettelijke norm aangepast. In 2006 hebben we voor het eerst getoetst of de Afsluitdijk voldoet aan de norm die we in 2006 hadden afgesproken, en toen bleek dat hij niet voldeed. En dat was ook niet zo gek. Want in die norm van 1 op de 10.000 staat dus dat we rekening moeten houden met een waterstand van 5 meter. En Lely ontwierp hem op een waterstand van 3.5 meter. Dus hij is afgekeurd en daarom moet hij versterkt worden. En als je hem dan versterkt, dan hou je natuurlijk rekening met die wettelijke veiligheidsnorm, plus de klimaatveranderingsmarges.

Franka: Dus als je kijkt alleen naar klimaatverandering, dan zou die grasmat een aandachtspunt kunnen zijn? In combinatie misschien met zware neerslag? Verder is er niet echt iets wat door klimaatverandering wat heftiger gaat worden, wat dan effect zou kunnen hebben op die dijk

Eric: Nee, volgens mij niet. We houden dus rekening met die klimaatverandering in het ontwerp, dus daar zit het ingebakken. Tenzij het dus veel meer zal worden in korte tijd wat we hebben berekend.

Franka: Dat heeft dan vooral te maken met die golfoverslag?

Eric: Ja, dat zijn dan de waterstanden en golfoverslag, maar puur op de onderdelen gericht, de constructieve kwaliteit van die onderdelen. Ja, het gras is dan misschien het meest gevoelig.

Franka: Het kan ook dat er niks is?

Eric: Nee, nou ja het is natuurlijk wel zo dat je zo'n dijkversterking doet voor een lange periode van 100 of 50 jaar vooruit, dus je houdt wel rekening met de mogelijke problemen.

Franka: Het is wel een aandachtspunt?

Eric: Zeker, zeker. Dat zit er volop in. We houden rekening met een zeker scenario en daar is die dan nu al op aangepast. En de metingen, je vroeg net of we iets merkten, maar we hebben natuurlijk wel dat we het water zien stijgen en steeds hoger komt te staan. Dat zijn wel verschillen die je ziet. Wel over flinke tijd van 20 cm per eeuw.

Maar als gevolg daarvan, meer schade is mij niet bekend. Met name het punt van klimaatverandering, dat is niet de eerste directe aanleiding voor het verbouwen. Maar de normering is de aanleiding en daarbij houden we rekening met de klimaatverandering. Dat is de volgorde. Dat werd door de klimaatfanaten nog weleens misbruikt, zou ik maar zeggen.

Franka: Komt de noodzaak om de spuisluizen te verbouwen niet wél door extra waterafvoer en dus klimaatverandering?

Eric: Mwah, valt ook nog wel een beetje mee hoor. Maar goed, het zijn natuurlijk effecten en ik ben er hartstikke voor dat we er rekening mee houden, begrijp me goed. Maar soms worden de argumenten een klein beetje misbruikt. Soms is dat tactisch zullen we maar zeggen. De echte aanleiding is het hoge IJsselmeerpeil geweest in 1998 toen die +53 cm was als peil. En dat was echt te hoog. En zo'n gebeurtenis blijft lang doordreunen. We merken dus wel dat we het IJsselmeer niet op het -40 cm streefpeil kunnen houden. Dat lukt niet. Maar dat is al elke tientallen jaren het geval en intussen zijn we zover dat we zeggen; nou dat willen we niet eens meer. Dus het valt ook wel weer mee. Dan vinden we dat vanuit de natuur wel weer prettig. Want nu gaan we dus bij Den Oever extra spuicapaciteit en pompen neerzetten, maar die zijn niet afgeregeld op het halen van die - 40 cm NAP, maar op het halen, ook in de toekomst, van diezelfde gemiddelde meerpeilen van -28 cm NAP, geloof ik. Dus we gaan niet zodanig verbouwen om het peil te realiseren, maar om het nog bij te kunnen houden dat we nog steeds op -28cm NAP zitten, ook in de toekomst met klimaatverandering.

8. Johan den Toom - Bridges

31st of August 2018

Franka: U weet veel van bruggen en de Afsluitdijk?

Johan: Ik weet redelijk veel van beweegbare bruggen, ook van die van de Afsluitdijk en de problematiek die daar gespeeld heeft. Afsluitdijk zelf verder niet zoveel. Mijn kennis zit vooral op de beweegbare bruggen, vier stuks.

Franka: Ik wilde om te beginnen graag weten hoe het onderhoud van die bruggen er in zijn algemeen uitziet. Wat wordt daar allemaal aangedaan qua reparaties en onderhoud?

Johan: In wezen staat daar een prestatiecontract op, de prestatieaannemer staat gecontracteerd voor een periode van 6-7 jaar. En die is verantwoordelijk om de beschikbaarheid van de bruggen en sluisen op peil te houden. En die voert dat onderhoud uit. Het is niet heel duidelijk omschreven wat hij allemaal moet doen, soms wel, dat ligt een beetje aan het contract. Ik weet niet hoe dat bij de Afsluitdijk geregeld is. In dit geval is het een groot bedrijf, Hollandia die dit doet. De hoofdaannemer heet Sherpa. En onder Sherpa zit Hollandia en die hebben verstand van bruggen en verzorgen het onderhoud. Dat beeld moet je hebben. Wij zelf voeren geen onderhoud uit.

Franka: Weet u ook niet wat voor onderhoud zij dan uitvoeren?

Johan: Nou, algemeen is dat wel een beetje bekend, heeft vaak met smeren te maken. Af en toe inspecties/schouwen. Gewoon langslopen en kijken of ze rare dingen zien.

Franka: Is het ook zo dat eens in de 10 jaar of zo, dat er aan het brugdek iets moet gebeuren?

Johan: Ja, in wezen moet elke 6 jaar een programmeerinspectie worden gehouden. De naam varieert. RWS GPO inspecteert dan zelf een project en bekijkt dan wat er komende periode aan geld aan dingen uitgegeven moet worden. Wat gerepareerd moet worden en wat er slecht uitziet, een inschatting van hoeveel geld dat is. En op die manier ontstaat een plaatje en dat wordt in het systeem gezet, zoveel geld wordt er dan gereserveerd voor renovaties, extra onderhoud etc. bovenop het aanvullende onderhoud en vaak krijgen prestatie- aannemers dan de opdracht om die dingen uit te voeren. Zo werkt het in principe. En om de twee jaar wordt nog een toestandinspectie gehouden, dat is wat kritischer dan een schouw. Maar de afgelopen jaren is er veel meer gebeurd met die brug he?

Franka: Ja, dat verhaal ken ik ja. Ik heb de brug onderverdeeld in 4 onderdelen en ik wil graag per onderdeel weten of het faalt en waardoor dat dan komt en wat je eraan kan doen. Is deze compleet zo denk je?

Johan: Het draaimechanisme is een eenvoudige tandbaan en een rondsel. Operating mechanisme en turning mechanisme zijn een beetje hetzelfde. Ik denk dat je de meest belangrijke dingen hebt. Misschien moet je 4 dingen zeggen. Brugdek, bewegingswerk (draaimechanisme), onderbouw dat zijn je land-abutments, betonnen pijlers en elektrische installaties. Het E-gedeelte is ook wel heel belangrijk. Schakelaartjes en dergelijken. En dat is vaak bij de meeste bruggen de grootste boosdoener, maar bij deze niet. Want meestal is dat E-verhaal, die besturing en

bediening, met alle schakelaars en veiligheidscircuits, die kunnen af en toe falen, dat is de grootste bron bij bruggen. Er zijn een aantal dingen met het brugdek aan de hand, punt 1 is dat hij erg gevoelig is voor temperatuur. Alle draaibruggen zijn dat eigenlijk. Dat is een eigenschap van draaibruggen. We hebben ook maar heel weinig draaibruggen bij Rijkswaterstaat, nog een paar in Zeeuws-Vlaanderen.

Franka: Ik merk in Rotterdam ook dat basculebruggen problemen hebben door hitte.

Johan: Ja, daar verbaas ik me ook altijd over. Wij hebben daar nooit last van met basculebruggen bij RWS. Maar bij de Afsluitdijk hebben de bruggen het probleem dat ze langer worden, maar dat ze ook nog eens kromtrekken door warmte. Een heel raar probleem bij die draaibruggen is (een jaar geleden zijn ze gerepareerd) toen hebben ze er een zwart asfaltdek opgezet. Epoxy, dat wordt nog warmer. Dus dan heeft de bovenkant de neiging om langer te worden en de onderkant blijft dan kort. Want die wordt niet door zon aangeschenen. Of de zijkant wordt alleen door zon aangeschenen. Dus dat betekent dat als de bovenkant langer wordt en de onderkant kort, dan gaat die echt krom staan. Dan past hij nog wel, maar dat is bij de Zuidbrug van Kornwerderzand vooral, dan krijg je hem bijna niet meer opgezet. Dat moet je zodanig die brug vervormen om die oplegging ertussen te leggen. Je hebt 3 opleggingen, aan de uiteinden en in het middelpunt. En wat je dan doet is door een mechanisme leg je de brug een klein beetje scheef. Hier zit een hydraulische grendel/oplegging en dat wiel kan uitschuiven en dát wiel kunnen ze laten zakken zodat de brug gaat kantelen en daar naar boven komt en hiernaar beneden zakt. Dan komt ie daar vrij als oplegging en wordt die oplegging daarnaar beneden gezakt. En op die manier kan je de brug netjes draaien. Dan draait ie open en zit hier een tandbaan en een rondsel. Zo functioneert dat. Maar als die krom staat kunnen er twee dingen gebeuren. Hij kan hier aanlopen tegen die oplegging omdat ie niet ver genoeg naar boven is, dat is vaak bij de noodbrug of ze kunnen hier niet meer recht duwen. Op een bepaald moment moet deze oplegging naar onderen zodat de brug weer recht wordt maar dan zit er zoveel vervorming in die brug en dan krijgt die hydraulische cilinder het niet voor elkaar. En heb je storing. Dat is vaak bij de Zuidbrug. Dat is eigenlijk het probleem met draaibruggen. Dat kromtrekken kan heel vervelend zijn als je maar weinig ruimte hebt waarin die moet draaien. Dat is het verhaal. En daarnaast gebeurt ook dat als de brug warmer wordt, dat de oplegging tegen die rand aan komt. Hij gaat open en dan krijgen ze hem niet meer dicht. Dan is de speling tussen het landhoofd en de brug te klein dat ze gewoon niet meer open kunnen draaien of sluiten. Meestal sluiten. Maar meestal is het dat eerste dat ie tegen de oplegging aanloopt. Dat is bij de Noordbrug in Kornwerderzand, daar was hij zodanig kromgetrokken dat het bewegingswerk hem niet terug kon duwen. Bij Den Oever speelde twee jaar geleden iets anders. Ook eenzelfde verschijnsel, daar heeft de brug hier een lager zitten waar hij omheen draait en waar de krachten naar deze pijler gevoerd worden. Ze hebben ook nog twee hulpopleggingen. Zogenaamde verkeersopleggingen. Als er een vrachtwagen over het randje van de brug rijdt, die zijn vaak zwaar en dat zorgt ervoor dat de brug niet gaat kantelen. En bij Den Oever stond die zo slecht afgesteld dat die bij extreme warmte tegen de verkeersopligger aanliep en er niet overheen kon worden getrokken. Dat was dus een andere storing, maar wel veroorzaakt door warmte. Verkeerd afgesteld dus.

Franka: En de enige oplossing die ze hebben is koelen met water?

Johan: Nee, er zijn meer oplossingen. Je kan die speling groter maken. Afgelopen april hebben wij de brug aangepakt in Kornwerderzand. Afgelopen zomer hebben we geen problemen gehad. Meestal is het probleem eind april. Dat is heel opmerkelijk. Want wat er aan de hand is, dat de brug dan wordt opgewarmd als het water erg koud is. Dan heeft die de meeste neiging om krom te trekken. Dat betekent dat die onderkant heel koud blijft en het meeste temperatuurverschil is.

Franka: Maar dat water om mee te koelen is wel kouder?

Johan: Ja, eerst even zonder koeling. Wat ook speelde, is dat die hele baan waar die overeen gaat dat dat allemaal vastzat en niet lekker liep. Het had allemaal weinig speling. Dus we hebben alle toleranties van deze wielen ook gecorrigeerd, zodat ie meer ruimte hier heeft. Dat hebben in het voorjaar gedaan. Dus we hebben heel die brugconstructie bekeken en gecontroleerd. En die wielen op de juiste maten gezet. Alle wielen nieuwe lagers en goed laten lopen. Dat heeft geholpen. In combinatie met een watersproeisysteem dat automatisch aangaat boven een bepaalde temperatuur. En dat is gelijk een nadeel; je sproeit wel met zeewater en dat is niet ideaal. Dat is zout.

Franka: Waarom niet met IJsselmeewater?

Johan: Ja, de kant maakt niet uit, beiden kanten zijn zout. Omdat je bij de sluizen zit. Of je moet van ver water halen, maar ja dat kost geld. Maar voor de staalconstructie van de brug is dat zoute water geen succes.

Franka: Maar dat is helemaal automatisch? Of staan er nog mensen op de brug te sproeien?

Johan: Volgens mij is dat automatisch. Vorig jaar nog niet. Maar nu is het echt een net systeem. Hij wordt heel netjes gesproeid en volgens mij gebeurt dat bij een bepaalde buitentemperatuur. Dat weet ik niet helemaal zeker. Kan ook

temperatuur van de slijtlaag zijn. Ik weet de temperatuur niet meer maar ik vond dat ze best snel sproeiden. Dat is mijn gevoel, maar ja ik ga daar geen discussie over beginnen want ik wil niet de persoon zijn die de oorzaak is voor stremming haha.

Franka: Dus afgelopen zomer heeft de brug geen problemen gehad met hitte?

Johan: Nee, ik heb niks gehoord. Meestal hoor ik het wel. Dus wat dat betreft... Dus het zijn twee dingen, ten eerste het sproeisysteem maar ook alles goed afstellen van die brug, die loopwielen, alles goed gangbaar maken. Een ander aspect wat speelt bij die draaibruggen is dat er scheuren in de brug kunnen komen.

Franka: Door warmte?

Johan: Nee, door verkeer. In deze brug zijn in 2016 of 2015 een aantal scheuren op de Noordbrug gerepareerd. Vermoeiingscheuren. Maar het vervelende van die scheuren is dat je hele brug een beetje vervormd door die reparaties. Dus als je gaat repareren moet je de brug eigenlijk weer compleet nieuw afstellen. Dat is ook een faalmechanisme van deze brug. Dat geldt voor de Noordbrug van Kornwerderzand en de twee bruggen in Den Oever.

Franka: Maar door dat komt dus door zwaarder wordend verkeer, er komen scheuren en die moet je repareren. Omdat je dat moet repareren is hij niet meer goed afgesteld en dan wordt hij gevoelig voor warmte?

Johan: Ja, dat weten we nu. We zijn er wat scherper op. In die tijd zijn we dat niet geweest. Dat was het verhaal van de brug. Staalconstructies technisch zijn drie van de vier niet 100% meer, die zijn eigenlijk einde levensduur. We gaan die bruggen waarschijnlijk ook in 2025 vervangen.

Franka: Want die brugdekken bestaan voornamelijk uit staal?

Johan: Alles is staal, behalve dan de slijtlaag van 8 mm dik en epoxy. Voor het bewegingswerk zijn er twee aspecten. Hier zit een tandbaan op, met een rondsel, tandwielkast en rem. De aandrijving. En hier zit dan de hydraulische cilinder. Al die bruggen zijn daarin hetzelfde, alleen deze is wat zwaarder uitgevoerd. Eerst gaan we hier de opleggingen verwijderen zodat de brug kan zakken en dan wordt hij met elektromotor gestart en draait hij 90 graden. Bewegingswerk is niet best. Verleden jaar hebben we de tandwielkast vervangen. Omdat we toch bang waren dat het helemaal verkeerd zou gaan. We hoorden allemaal rare geluiden etc., dus die is vervangen. Dit bewegingswerk is dus redelijk. De tandbaan is niet best.

Franka: Meestal is een tandbaan niet gevoelig voor slijtage toch?

Johan: Nee, als je eraan rekent zou die allang kapot moeten zijn. Dat niveau is het gewoon een beetje. We rekenen het als kapot. Maar hier zit ook een faalmechanisme van deze brug. Het bewegingswerk kan falen of het opzetwerk kan falen.

Franka: En dat faalt dan door slijtage?

Johan: Vermoeiing, slijtage, noodstop is ook slecht voor een brug. Dan slingert die alle kanten op. Dat is een grote klap op het bewegingswerk.

Franka: Net als een computer ineens uitdrukken?

Johan: Ja, zoiets dergelijks. Dus dat zijn best risico's. Deze is in 2006 ofzo vernieuwd dus die is iets minder slecht. Alleen hij heeft wel veel problemen met kromtrekken bij het opzetwerk. Het aandrijfwerk van deze drie bruggen is niet best dus. Dat is wel een risico. We hebben wel een extra tandkast tot onze beschikking zodat we die snel kunnen inzetten mocht het nodig zijn.

Franka: Maar hebben alle vier die bruggen dan dezelfde bewegingswerken?

Johan: Nee, deze is dus nieuwer maar die andere drie wel. Het is wel hetzelfde type maar de nieuwe is veel zwaarder uitgevoerd. Tijdens een storing in 2016 hebben we uitvoerig onderzoek gedaan naar de bruggen en afstelling van alle vier. En ook een uitvoerig onderzoek gedaan naar het beton. Daar zien we grote scheuren. Maar de conclusie is geweest dat er weinig aan de hand is. Dus we zien dat niet als risico.

Franka: Waardoor zijn die scheuren ontstaan?

Johan: Door zetting en dergelijke. Wat we wel gedaan hebben afgelopen jaar is bij deze brug dat het gevoel is dat bij deze brug de landhoofden iets naar binnen aan het komen zijn. En dat die speelt waar we het net over hadden, bij die oplegging, nog krapper wordt. Bij deze twee bruggen.

Franka: En hoe kan dit naar voren komen?

Johan: Ja dat weten we ook niet. Ja zetting. Maar volgens mij staat deze op staal en deze op palen.

Franka: Ja klopt ja.

Johan: We doen zettingmetingen, maar we hebben sinds 2012 niet echt iets kunnen zien. Maar toch wordt die spleet krapper. Dus dat is een beetje raar. Maar om problemen te vermijden is de spleet bij die bruggen wel vergroot. Ik vind wel dat die bij die brug erg weinig is. Dat is in de zomermaanden een centimeter ofzo. Hij is normaal 3-4 centimeter. Het laatste belangrijke punt is de elektrische installaties. Die zijn allemaal vervangen 5 jaar geleden. Dus die zijn helemaal up to date.

Franka: En die falen omdat het oud is?

Johan: Kan vervuiling in komen, kan een vogel iets raars doen, dat soort dingen of een schilder. Ik kan zoveel dingen verzinnen haha. Maar het gaat goed nu. Vaak zie je wel kinderziektes bij zulke installaties. Dat de afstelling net niet lekker loopt enz. Dus eigenlijk willen we in 2025 alle bruggen vervangen en het mechanisme. En het beton handhaven. Dat is goed genoeg. Als je dat vervangt kan je hem beter slopen.

Franka: Ik heb ook hier al die klimaatinvloeden verdeeld. En ik wil dan per klimaatimpact kijken naar de brugonderdelen. Kan me voorstellen dat neerslag of IJsselmeerpeil weinig effect hebben en hoge temperaturen hebben we gehad. Geeft lage temperaturen ook weleens problemen?

Johan: Nou we hebben wel iets raars gehad, dat was ook nog wel een aparte. We hebben situaties gehad dat we nachtvorst kregen terwijl het overdag warm was van de zon. Dan durven wij niet te koelen. Je kan je voorstellen dat als dat water erop blijft staan dat dat heel gevaarlijk is voor het verkeer.

Franka: Dan heb je dus nachtvorst terwijl je overdag zo'n hoge temperatuur hebt dat je moet koelen?

Johan: Ja. Dat is gek maar komt voor. Aan de andere kant denk je het is zout water dus zal wel meevallen, maar toch moet je ten alle tijden voorkomen dat je hier gladde plekken op die brug krijgt. Dat hadden we niet bedacht van tevoren. Neerslag speelt niet want al het water kunnen we goed kwijt.

Franka: Ik sprak iemand die zei dat als je hoge golven hebt dat het brugdek eruit kan worden geslagen. Is dat zo?

Johan: Ja. Theoretisch wel. Ik weet niet tot hoe ver ze zouden moeten komen. Dat speelt ook bij andere plekken. Bij Terneuzen bijvoorbeeld. Hier hebben we er niet zoveel last van want er komt toch een nieuwe keersluis. Die beschermt. Maar op andere plekken komt de brug voor de sluizen. Want ik vind het zelf een bijzonder fenomeen. We wisten het dat het bij kleine loopbruggetjes kan gebeuren.

Franka: Ja maar deze bruggen zijn zwaarder en groter.

Johan: Ja en daarom ik denk dat het wel meevalt. Maar bij de Westerschelde liggen die bruggenonderkanten op 8+ meter alleen met waterstandsverhoging en extreme storm zou het theoretisch kunnen gebeuren dat golven tegen de onderkant van de brug aan komen.

Franka: Nu is het nog theoretisch maar in de toekomst kan het zomaar gebeuren.

Johan: Ja klopt. Wat we daar doen is dat we de brug openzetten. Dat is een basculebrug. Dat doen we tijdens extreme stormen.

Franka: Heeft die brug dan niet last van harde wind tijdens zo'n storm?

Johan: Ja hij staat niet helemaal open. Daar wordt aan gerekend.

Franka: Heeft het openzetten van de brug ook nut bij de Afsluitdijk?

Johan: Ja omdat deze pijler de golven breekt. Dat helpt mee. Dat is een soort golfbreker. Maar de essentie blijft dat hier een sluis voor komt. En als die er niet voor komt is het een interessant probleem. Bij grote golven kan die brug beschadigd worden. Kijk, hij is niet meteen weg, maar schade kan die wel oplopen. Het is wel iets waarover we nadenken. Een interessant punt wat we normaal vergeten.

Franka: Naar dat soort dingen ben ik op zoek. Een ander dingetje wat ik me gaandeweg afvroeg is coating op staal, dat verslechtert door zonlicht. Die staat hier nog niet tussen maar die wil ik wel gaan meenemen. Speelt dat hier ook?

Johan: Wat er wel gedaan is dat we hem hebben witgeverfd, dat is vanwege de zon. Want we zien dat die brug de neiging ook nog eens heeft om krom te staan. In een andere hoek. Af en toe wist je niet wat je zag.

Franka: Die brug nam allemaal rare vormen aan?

Johan: Ja en hij was ook nog eens niet helemaal lekker gebouwd, als een soort wokkel, dat was met lassen fout gegaan. Dus van alles speelt daar. Maar ze hebben op een bepaald moment gezegd we maken hem wit om het temperatuureffect te minimaliseren. Kleur helpt zonder meer. Ook de kleur van de slijtlaag helpt hoor. Die heb je ook in witte varianten. Maar die worden langzaam zwart door het verkeer.

Franka: Maar die coating houden jullie niet zo mee bezig dus?

Johan: Nou vooral de kleur van de brug. Daar letten we op. Ik zou dat aan Carolien Nieuwland vragen.

Franka: Als je kijkt naar deze andere dingen hebben we het meesten wel gehad. Beton heb ik al iemand over gesproken.

Johan: Ja dat heeft weinig effect. Wat speelt is ASR. Maar volgens mij valt dat mee. Het enige wat kan is dat het spul onder water komt te staan bij hoge waterstand. Dan heb je wel echt een probleem. Hier onder de brug. Dan staat het wel heel hoog.

Franka: Als dat onder water staat dat is super schadelijk natuurlijk.

Johan: Ja voor je elektromotor. Je bent misschien een ton kwijt en het werkt niet meer. De temperaturen spelen bij het opzetwerk, dus vooral bij de Zuidbrug. En als er golven tegen de onderkant aanslaan kan die brug beschadigd raken.

Franka: Gebeurt dat nu al eens?

Johan: Zou me niet verbazen. Het bewegingswerk zit hier vlak onder. Daar staat een elektromotor. Af en toe een golf er tegenaan valt wel mee maar je wil niet dat die onder water komt te staan. Daar heb je allemaal schakelaartjes.

Franka: En als je kijkt naar adaptiviteit. Kan je die brugdekken makkelijk vervangen?

Johan: Ja relatief makkelijk. Je kan eigenlijk met twee kranen de brug eruit hijsen en een nieuwe neerleggen.

Franka: En dan kan je er een betere neerleggen?

Johan: Ja en dan kan je gelijk het bewegingswerk en dergelijke vervangen en tandbaan. Vervangen van die brug geeft misschien een week stremming. Je hebt hier twee bruggen en je mag in het voorjaar best maar 1 brug gebruiken.

Franka: Voor dat uitslaan van die brug door golven dat helpt natuurlijk ook als die veel zwaarder is.

Johan: Ja maar voor die golven geldt meer lokale beschadiging. Ik denk niet dat het brugdek eruit kan worden geslagen. Dat ding weegt 250 ton.

Franka: Je kan er ook voor kiezen om de onderkant af te schermen tegen water. Zou dat helpen?

Johan: Ja, maar goed, zolang er een sluis wordt gebouwd lig ik er niet meer wakker van. Die bruggen zijn gebouwd in 1976 en eentje in 2006. En heb nog nooit daar wat over gehoord.

9. Arjen van der Sligte - Motorway

3rd of September 2018

Franka: Als algemene vraag wilde ik weten hoe het algemene onderhoud eruitziet bij een snelweg. En de Afsluitdijk dan specifiek.

Arjen: Dan kom je op het onderhoudsregime dat we volgen. We zeiden vroeger altijd elke 12 jaar moet er onderhoud uitgevoerd worden, maar het asfalt wordt steeds beter en we krijgen steeds betere technieken om het langer goed te houden. Dus nu zeggen we elke 18 jaar groot onderhoud. Eens in de 18 jaar ga je kijken of je de deklaag aan gaat pakken en soms wat dieper in de constructie, de onderlaag of tussenlaag. Dus eens in de 36 jaar ga je nog dieper de constructie in. Dus de onderlaag of de funderingslaag. Dat is eigenlijk hoe groot je onderhoudscyclus is. Elke 18 jaar theoretisch. Dan zijn er allerlei factoren van buiten die daar dan invloed op hebben zoals politiek bijvoorbeeld, is er geld genoeg en vinden er andere grote projecten plaats. Bij de Afsluitdijk hadden we dat bv in 2015 ofzo al uit willen voeren, maar als er dan een groot project aankomt doen we het pas in 2020. Dat zijn invloeden van buitenaf die invloed hebben op je onderhoudsregime. Maar die 18 jaar proberen we erin te houden. Dat betekent dat je dus baanbreed-onderhoud uitvoert. Maar je ziet op de zwaarst bereden rijstrook, dus de rechter, daar zie je meer beschadigingen, rafeling. In jaar 11 doe je daar dan wat aan. In de praktijk is dat vaak dat je er iets opspuit zodat de binding in de steentjes weer beter wordt, of je haalt de hele toplaag eraf en vervangt die. Dat hangt af van de schade die je ziet en wat er al meer is gedaan.

Franka: Ik heb alle 5 de assets verdeeld in kleinere onderdelen. Klopt dit zo?

Arjen: Ja, volgens mij heb je wel alles. Hij is ooit een keer als klinkerweg aangelegd, 7 meter breed. En je weet dat de ene kant bedoeld was als spoorverbinding? Er is door de jaren heen van alles mee gebeurd. Als je onderzoek doet van links naar rechts zie je allerlei verschillende soorten funderingsmateriaal zitten. Vanaf Breezanddijk naar Kornwerderzand zie je ook een scheur lopen, daar is die fundering en wegconstructie tegen elkaar aangelegd, maar daar zit geen goede verbinding tussen, dus dat scheurt.

Franka: Ik wilde voor deze onderdelen specifiek kijken naar het onderhoud. Wanneer hebben die vervanging nodig en hoe wordt dat veroorzaakt. Die asfaltlaag is wel het meest gevoelig ook qua slijtage enz.?

Arjen: Ja. Daar is ook een document van. Hoe we daar onderhoud aan uitvoeren. Dat zal ik wel sturen. Eerst ga je je grootonderhoud uitvoeren en maak je hem weer als nieuw. En zeg je dat dat weer jaar 0 is, als nieuw. Je hebt ook je onderzoeken gedaan en daar komt uit hoe je je onderhoud uit moet voeren. En dan ga je die weg monitoren, dus onderzoeken doen naar bepaalde schadebeelden in de weg. Rafeling, maar daar heb je met dat minder last van. Vooral met zoab heb je daar last van. Je kijkt ook naar craquelé, dat is kleine scheurvorming. Kleine scheurtjes, je kijkt naar spoorvorming, je kijkt naar stroefheid. Dat zijn allemaal jaarlijkse onderzoeken en daarmee monitor je je weg. Vanuit je programmering is dat eens in de 18 jaar, maar het is wel toestandsafhankelijk onderhoud. Stel, je ziet al een jaar of 5 bepaalde schade aankomen en er komt een groot onderhoudsmoment, dan ga je dan groot onderhoud uitvoeren. Als er geen groot project loopt en de programmering het toelaat. De bovenste millimeter, de toplaag, alle schades die we zien en reparaties die we uitvoeren zijn gerelateerd aan de toplaag. En daar monitoren we hem op. Op het moment dat we groot onderhoud uit gaan voeren, gaan we twee drie jaar vooraf een draagkracht-onderzoek uitvoeren. Dus dat betekent dat je een VGD-meting gaat doen. Met een apparaat, een soort hamer en sensoren, kun je meten hoeveel die indeuking is op de locatie zelf, maar ook in de diepte. En dat zegt iets over de sterkte van de hele constructie. Stel hij slaat erop en het veert te veel naar beneden, dat is niet goed. Als je die doorbuiging alleen ziet bovenaan, is het niet zo'n probleem, maar zie je die doorbuiging ook nog in de verste sensoren, dan is die zwakke plek dan wel heel diep. En ze doen ook nog boringen, hoe ziet de onderlaag eruit, zie je loslatende lagen...dat soort dingen zoeken ze dan allemaal uit.

Franka: En dat afwateringssysteem, wordt daar ook onderhoud aan uitgevoerd? Zitten die dingen weleens verstopt of dat soort dingen?

Arjen: Wij zijn de afgelopen jaren heel gigantisch slecht geweest in onze gegevens vastleggen. Wij weten niet waar onze afvoersystemen liggen. Dan is de Afsluitdijk nog vrij eenvoudig te herleiden omdat je nog van die pijpjes naar buiten hebt. Dus daar kun je nog iets bij verzinnen. Maar we weten niet precies hoe die dingen liggen. Dat is ook het probleem geweest nu bij de Afsluitdijk. Dat vroegen ze aan ons als beheerder, maar we wisten het niet en de toestand ervan ook niet en het materiaal ook niet.

Franka: Zijn er weleens problemen?

Arjen: Ja, maar dat weten we ook niet goed. Je ontwerpt het op een maatgevende regenbui, een theoretische benadering. Maar op het moment dat dat plaatsvindt weten we niet wat er gebeurt, omdat we niet weten dat het een maatgevende regenbui is, want wij zijn op dat moment niet op de dijk. Je weet niet wanneer ze gaan komen. Als je zon/bui hebt weet je ook niet of het een maatgevende regenbui is en weet je dat ook niet goed want je staat niet met je regenmeter in het veld. Die Afsluitdijk is 30 km lang, dus het verschilt per plek of het goed gaat of niet. Dus we weten ook niet goed of het afwateringssysteem goed is. Dat is heel lastig te bepalen.

Het enige wat je hebt zijn klachten van inspecteurs, weggebruikers of ongevallen. Maar die zijn vaak ook weer te relateren aan; je hebt de middenberm met grasbetonkeien en daartussen zitten kolken en we hebben het vermoeden dat het normale water via het dijklichaam infiltreert en bij overvloedige regenval gaat het via de kolken. Wat je nu vaak ziet is dat ze vanwege werkzaamheden die middenberm hebben geasfalteerd. Dus vanwege omleidingen dachten ze dat dat handig was, om het verkeer daarop te zetten. Na opleveringen dachten ze, we kunnen het wel laten liggen. Die verstoort de waterafvoer en krijg je dus water op de weg. Dat zijn de problemen waar we tegen aanlopen.

Franka: Die berm is gras met keien ertussen?

Arjen: Ja grasbetonstenen, 40 bij 60 cm met een hele open structuur. Die berm wordt regulier onderhouden, gemaaid. Maar dat regenwatersysteem is lastig. Wat we weten, wordt er wel gereinigd. Je hebt hier verzamelingen geloof ik en die gaan hier dan het IJsselmeer in. Volgens mij is het systeem nu zo ingericht.

Franka: Als tweede onderdeel heb ik alle klimaatonderdelen, waarvan ik verwacht dat ze invloed hebben op de infrastructuur, opgedeeld. Ik heb zelf al wat dingen bedacht en erbij geschreven. Ik wil graag van jou weten of er wat mist of dat je het er niet mee eens bent. Voor hoge temperatuur hebben ik vloeibaar asfalt opgeschreven.

Arjen: Ja dat kan. Het is sowieso al vloeibaar. Ook nu. Je kunt het beter spoorvorming noemen.

Franka: Soms zie je wel plaatjes dat het echt stroperig is. Dat het gevaarlijk is om over de weg te rijden. Weet je ook bij welke temperatuur of omstandigheden dat gebeurt?

Arjen: Dat weet ik niet, 80-90 graden, maar met zon op het asfalt ga je al snel richting die temperatuur.

Franka: Maar dit is wel zeker een probleem dus?

Arjen: Jazeker. Spoorvorming hoort daar ook bij. En ook ontmenging van het asfalt. Je bitumen en vulstof gaan los van de steetjes zeg maar, die zakken naar beneden en de bitumen naar boven. Dan krijg je van die vette plekken. Dat was afgelopen zomer ook. Dan zie je op de weg van die glimpekken. Dat is ontmenging. Dat kan gebeuren. Dat is dan glad en is gevaarlijk. Maar de bitumen is ook van een ander materiaal dus die steentjes zitten ook ergens anders en daardoor gaat de weg gewoon kapot. Hoge temperaturen op de rest van het asfalt zijn niet echt een probleem. Alleen de toplaag heeft er veel last van. Dieper in de constructie geeft het minder problemen geloof ik. Hoge temperatuur op regenwaterafvoer of onderbouw heeft weinig invloed. Op je berm heeft het wel veel invloed. Gras gaat dood. Bermbranden. Hebben we afgelopen zomer regelmatig gehad in ons areaal. En als het gras doodgaat heb je verminderde draagkracht. Op het moment van de droogte heb je daar geen last van, want het is vaak kleibodem dus die wordt hard. Maar als het weer gaat regenen moet dat gras weer groeien en dan heb je een periode van verminderde draagkracht. Maar bermen hebben weinig invloed op de Afsluitdijk want die zitten achter een geleiderail, dus kan je eigenlijk niet in de berm terecht komen.

Franka: Spoelt er niet meer zand door de kolken als het gras weg is en raken ze zo sneller verstopt?

Arjen: Zou kunnen. Ik zou hem zelf niet zo direct herkennen. Maar het is mogelijk.

Franka: Wordt dat trouwens sneller warm dan zoab?

Arjen: Dat denk ik niet, het is gewoon zwart dus neemt evenveel warmte op. Misschien gaat het bij zoab iets dieper de constructie in. Lage temperatuur bij dichte deklaag, dan zit je met je strooieregime. Bij het nieuwe ontwerp hebben we ook weer een dichte deklaag. Daarvoor hebben we een uitzondering gekregen om niet te hoeven voldoen aan het zoab-beleid. Afsluitdijk is een van de technische uitzonderingen. De hoofdreden daarvoor is, dat als je bij lage temperaturen, rond 0 met neerslag, krijg je ijzel en sneeuwvorming en dan wil je strooien. Dan gooi je zout op de deklaag en door de voertuigen die erover heengaan, die rijden het kapot. Die drukken op het ijs en sneeuw en die mengen het dan met het zout wat erop ligt. Als je het op zoab gooit dan gaat het in de zoab. Dus tussen de steentjes. En als die weg veel bereden wordt trek je met je autobanden lucht weer uit het materiaal. En dan trek je het zout weer mee. Dan blijft dat mengen. Als je zoab hebt met veel verkeer en je gaat strooien dan blijft je zout gemengd en weer omhooggetrokken en blijft zijn werking houden. Bij lage verkeersintensiteit, wat bij de Afsluitdijk is, dan heeft het alle tijd om een ijslaagje te creëren, want er rijdt bijna geen auto. Dus er is bijna geen vermenging met het zout dus dat is een van de belangrijkste redenen dat we daar een dichte deklaag op hebben, daar blijft het zout gewoon op de weg liggen en zakt het niet weg. Daardoor blijft het veel makkelijker zijn werk doen. Lage temperaturen, die hebben dus geen effect, maar wel op je strooieregime.

Franka: Hebben ze ook gekozen voor een dichte asfaltlaag vanwege golfoverslag?

Arjen: Ja, daar is veel onderzoek naar gedaan maar er kan niet worden aangetoond dat zout veel invloed op de achteruitgang heeft van asfalt.

Franka: Overslag is niet iets om je zorgen over te maken bij de asfaltlaag?

Arjen: Nee. We hebben wel gezegd, het moet integraal worden meegenomen. Toen project Afsluitdijk begon hadden ze alleen dijkversterking, het verhogen van de afvoercapaciteit en dat allemaal en hebben ze weinig naar de weg gekeken en was ook geen onderdeel van de scope van de Afsluitdijk. Later is die er pas bijgekomen.

Franka: Omdat ie ook verplaatst moest worden?

Arjen: Ten eerste omdat we een onderhoudsopgave hadden die periode en ten tweede ligt die weg boven op het dijklichaam en dat is een onderdeel van het waterkerend vermogen van die dijk. Dat weglichaam is zo belangrijk voor de overslagbestendigheid van die dijk en het afvoeren van dat water, dus die moet je integraal bekijken en beoordelen, dus die moet ook meegenomen worden. Helemaal in het DBFM-contract. Dus daar is naar geluisterd.

Franka: Wat ik ook heb gehoord is dat als het grondwater te hoog komt, dat het zand in de onderbouw van de weg dat wordt dan verzadigd met water en dat kan dan vloeibaar worden. Is dat bekend bij jou?

Arjen: Ja het kan.

Franka: Dat gebeurt als het hard regent of het IJsselmeerpeil staat hoog.

Arjen: Ja, dan krijg je een soort drijfzand. Dat betekent dat je heel veel trillingen van bovenaf je wegverkeer krijgt en wat dan helemaal doordringt en dan moeten die trillingen zo sterk zijn en het zand wat eronder ligt zo slecht gepakt zijn, dat dat problemen zou geven. Ik geloof het niet. Want als je dat zou krijgen, zou je ook stabiliteitsproblemen krijgen in je dijklichaam. Dan heb je eerst je asfaltpakket, dan je funderingspakket en dan je zandpakket.

Franka: Kan die weg dan niet verschuiven?

Arjen: Nee, die ligt zo vast, dus ik geloof niet dat die zomaar kan verschuiven. We hebben het wel op andere plekken gehad maar niet op de Afsluitdijk. Met ophogingen zie je wel dat het gebeurt.

Franka: Is dat dan de reden dat de weg moet worden opgehoogd?

Arjen: Nou kijk, we hebben wel ophogingen dus dat een weg wordt aangelegd op een natuurlijke ondergrond of deels verbeterde ondergrond, die wordt dan met zand opgehoogd en dan krijg je een extra belasting op je ophoging en dat, zeg maar, die natuurlijke ondergrond gaat bezwijken en afschuiving krijgt en dat soort zaken. Dat kan, maar die Afsluitdijk ligt er al bijna 100 jaar nu zoals hij daar nu ligt en het is nog nooit gebeurd en ik geloof ook niet dat dat gaat gebeuren.

Franka: Kan het ook gebeuren dat als er veel neerslag valt dat die kolken niet goed kunnen afvoeren?

Arjen: Ja dat kan wel, absoluut.

Franka: En in het nieuwe ontwerp?

Arjen: Ja daar hebben we minder last van dan. Ten eerste moeten ze daar wel onderhoud op uitvoeren en ten tweede komen de berekeningen overeen met de werkelijkheid. Het blijft een theoretische benadering en de werkelijkheid blijkt vaak weerbarstiger.

Franka: En als zo'n buis die onder de weg doorloopt kapot gaat en er komt een plasje water onder de weg, is dat erg?

Arjen: Ja, dat kan erg zijn ja. Als een afvoerleiding breekt. Wat je ook kan hebben bij betonbuizen is dat eentje kan verzakken en daardoor ontstaan kieren. Of het rubber ertussen rot eruit. En dan krijg je intreding van zand, dan verlies je zand en krijg je een gaatje wat steeds groter wordt en dan krijg je een gat in je weg. Zou een probleem kunnen zijn. Maar dat zie je voornamelijk bij hele zettingsgevoelige gebieden. Maar wat ik al zei, die Afsluitdijk ligt er al heel wat jaartjes, als je hem ook ziet, hij ligt er nog wel. Hij hobbelt alleen omdat we er onderhoud aan hebben uitgevoerd of omdat de constructie deels is bezwaken. Maar niet omdat die ondergrond slecht is.

Franka: En stel de dijk is niet in staat om golfoverslag op te vangen en die grasmat wordt geasfalteerd aan de binnenkant. Heeft dat effecten op de weg, omdat het water dan niet kan wegzakken in de dijk?

Arjen: Ja, dat denk ik wel ja. Dat afvoersysteem is nu zodanig dat het water van de weg af moet kunnen stromen. Op het moment dat je die dijk gaat verharderen, heb je geen buffer meer van dat gras.

Franka: Is daar ook rekening mee gehouden in de berekeningen?

Arjen: Dat zou heel goed kunnen, dat weet ik niet.

Franka: En een laag IJsselmeerpeil, dat is niet zo interessant voor de weg denk ik he?

Arjen: Nee, alleen als het hoog wordt dan loopt ie onder, maar dan heb je de weg al afgesloten. Wat vroeger een probleem was, was ijsgang, maar dat is nu ook al opgelost. Kruiend ijs. Voorheen kon dat ijs weleens op de weg terecht komen. Maar nu hebben ze die steenbestorting aan de buitenkant gelegd en die schijnt dat opkruiend ijs te breken. Dus dat is nu geen issue meer.

Franka: En stel die weg staat onder water, is dat slecht?

Arjen: Kan me voorstellen dat het niet heel goed is voor een weg, dat die onder water komt te staan. Anderzijds, ik weet niet wat er gebeurt.

Franka: En die problemen, die we net hebben besproken, is daar rekening mee gehouden in het nieuwe ontwerp?

Arjen: Ja. Alleen vloeibaar asfalt niet geloof ik. Daar is gewoon een standaardmengsel gebruikt. Inge van Vilsteren of Jan Voskuilen zou je daarvoor kunnen vragen. Bij Rijkswaterstaat hebben we gevalideerde mengsels en als een aannemer een mengsel bij ons wil toepassen op de weg dan mag dat niet anders zijn dan een gevalideerd mengsel. En die mengsels, daar zijn allemaal proeven mee uitgevoerd. Op stroefheid, menging, rafeling. Daar worden ook duurproeven mee gedaan, dus een aannemer die gebruikt gewoon een gevalideerd product.

Franka: Maar in de toekomst zou dat dus nog wel kunnen spelen?

Arjen: Ja, maar volgens mij hebben wij nooit grote problemen gehad op onze wegen. Zachte bitumen smelt eerder, dus hardere bitumen zou helpen.

Franka: Maar ja, over 30 jaar kan het misschien wel spelen.

Arjen: Ja, het kan altijd. Dat geldt hetzelfde voor regenwaterafvoersysteem. Op de basis van de kennis die we nu hebben, maar het kan altijd anders worden.

Franka: En die bermbranden, kan je ook weinig aan doen denk ik.

Arjen: Kunstgras haha. Wat wel invloed kan hebben op sea level rise, je golfoverslag en berm, is dat die uitspoelt, dus als de golf er overheen gaat. Datzelfde probleem heb je op je binnentalud.

Franka: Maar die berm bestond toch uit betonstenen met gaten ertussen?

Arjen: Ja, maar die gaat weg. Die constructie gaat weg in het nieuwe ontwerp.