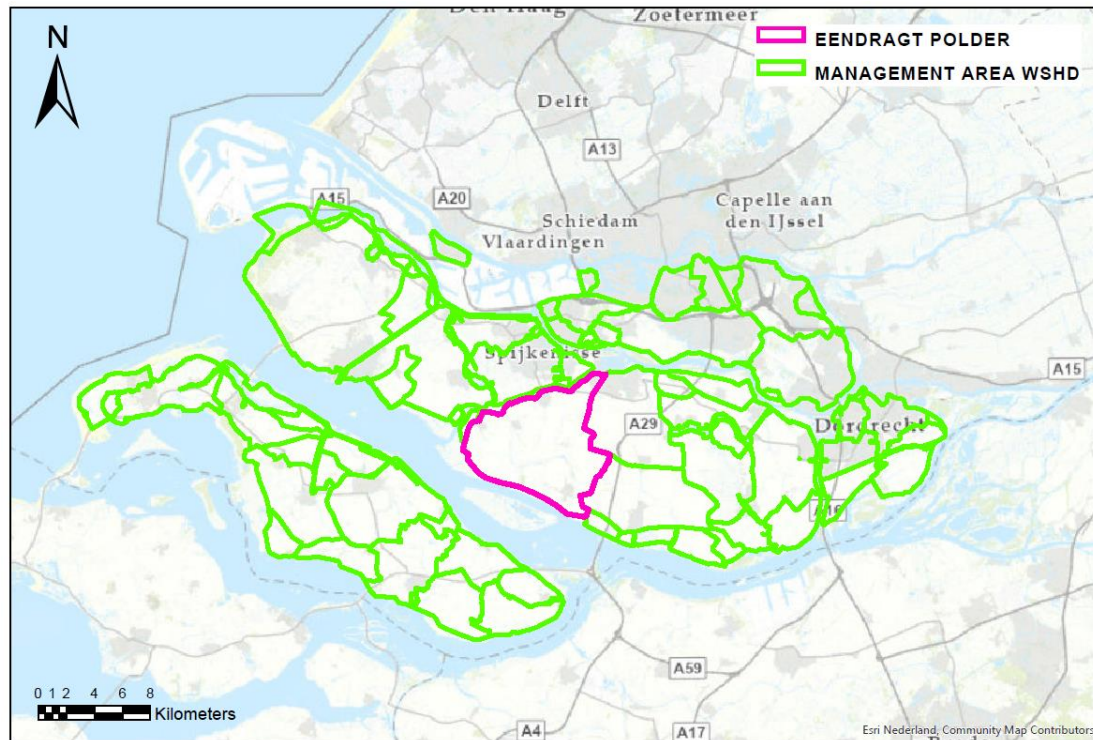


## A pro-active regional control system framework for the polder “De Eendragt” in the Netherlands.



Name:	Nathalie van Tricht
Student number:	6940420
Date	4 <sup>th</sup> August, 2021
Email:	<a href="mailto:n.c.vantricht@students.uu.nl">n.c.vantricht@students.uu.nl</a> or <a href="mailto:N.vanTricht@wshd.nl">N.vanTricht@wshd.nl</a>
University Supervisor:	Dr. Jaivime Evaristo
Internship Organization:	Waterschap Hollandse Delta (WSHD)
Department	AA (Advice & Automation)
Supervisor internship organization:	Thijs Ijpelaar
Period	8th February till 3rd July, 2021 30 ECTS 3rd and 4th period
Wordcount:	12.986

# Index

1.	Introduction.....	8
1.1.	Climate change effects on weather extremes.....	8
1.1.1.	Climate change effects on global precipitation patterns.....	8
1.1.2.	Climate change effects in the Netherlands .....	9
1.1.3.	Challenges polder systems.....	9
1.1.4.	Smart water management .....	10
1.2.	Water management at WSHD .....	11
1.2.1.	A new vision .....	11
1.2.2.	Technical automation at WSHD.....	12
1.3.	Societal significance .....	13
1.4.	Scientific significance .....	14
1.5.	Research aim + research questions .....	14
1.5.1.	Aim .....	14
1.5.2.	Research question.....	14
2.	Method .....	15
2.1.	Study Area .....	15
2.2.	Methods.....	19
2.3.	Methods of data collection .....	19
3.	Results.....	21
3.1.	Question 1: Water Management goals WSHD .....	21
3.1.1.	Water management goals WSHD .....	21
3.1.2.	Translation Eendragt polder .....	23
3.1.3.	Current management strategies in the Eendragt polder .....	28
3.2.	Question 2: Best practices Smart water management .....	32
3.2.1.	Meteorological data .....	32
3.2.2.	Parameters .....	33
3.2.3.	Groundwater levels .....	33
3.2.4.	Data locations .....	33
3.2.5.	Limit & signal values.....	33
3.2.6.	Important lessons implementation DSS .....	34
3.3.	Question 3 Scenarios.....	35
3.3.1.	Goals regular circumstances .....	35
3.3.2.	Goals during a prolonged drought.....	36
3.3.3.	Goals intense rainfall .....	39
3.3.4.	Proposed management intense rainfall.....	41
3.4.	Question 4: Effectiveness rainfall management strategy .....	44
3.4.1.	SOBEK model Eendragt polder.....	44
3.4.2.	SOBEK simulations Equal filling degree .....	47

3.4.3.	SOBEK simulations Risk informed management.....	48
3.4.4.	Measurement locations SOBEK simulations .....	49
3.4.5.	Results Equal filling degree .....	51
3.4.6.	Results Risk informed management.....	55
3.5.	Question 5: Algorithms intense rainfall event.....	58
4.	Discussion (max 1000 words) now 1113 words .....	64
5.	Conclusion (443 words) .....	66
6.	References .....	67

## Translation Dutch terminology to English terminology

Bemalingsgebied	Polder
Beslissingsondersteunend system	Decision support system
Gebiedsregeling	Regional control system
Kunstwerken	Assets such as pumps, weirs and inlets
Maaiveld	Ground level
Nieuwe Besturing Watersysteem	New Control of the Water System
Peil beheerder	Water level manager
Peilgebieden	Sub-polder

## Abbreviation terms

DSS	Decision support system
GIS	Geographic Information System
NAP	Normaal Amsterdams Peil
PLC	Programmable Logic Controller
RCS	Regional control system
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
TA	Technical Automatization
WHO	World Health Organization

## Abbreviation organizations

BZK	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Ministerie van LNV	Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
STOWA	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
WFD	Water Framework Directive
WSHD	Waterschap Hollandse Delta (Water board Hollandse Delta)



## Key concepts

<b>Concept</b>	<b>Definition</b>
<i>Climate adaptation</i>	Adaptation of the (urban)environment to anticipate the adverse effects of climate change.
<i>Decision support system</i>	Is a “computer-based information system that supports business or organizational decision-making activities” (Tekinerdogan, 2021). The DSS is designed in such a way that it can gather various types of external information. A DSS can be developed in multiple levels of complexity. In the first option, the DSS uses data input for giving predictions about the occurrence of certain scenarios. Based on these predictions the DSS can give recommendations on which regional control system could best be applied. In the second level, the DSS anticipates automatically to the predicted changing circumstances. In this option, the management of the water system is completely automated.
<i>Drought</i>	<p>A drought can be defined as a sustained period of below normal water availability (Van Loon, 2015).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Meteorological drought: usually occurs over a large area over an extensive period, during this period there is a precipitation deficiency in combination with increased evapotranspiration (Van Loon, 2015).</li> <li>○ Hydrological drought: there is a lack of water in the hydrological system (Van Loon, 2015).</li> <li>○ Soil moisture or agricultural drought: occurs when there is a deficit of soil moisture, causing crop failure (Van Loon, 2015).</li> <li>○ Socio-economic drought: water resources does not meet the (agricultural) demands (Van Loon, 2015).</li> </ul>
<i>Inundation</i>	The water level in the waterway becomes higher than the ground level, this is due to heavy precipitation and runoff. In this situation the water flows from the waterway to the surrounding area, inundation on land occurs (Oomen, et al., 2011).
<i>Regional control system</i>	A set of rules that determines how assets within a water system are controlled during certain pre-defined scenarios. In contrast to the traditional local operation of assets, regional control systems use a broader set of available measurements within a polder to fine-tune the control of assets. The concept of regional control systems is WSHD-specific.
<i>Short rain floods</i>	During short but intense rainfall events the rainfall intensity exceeds the infiltration capacity of the soil, this causes the soil to saturate, if sloped runoff occurs (Merz & Blöschl, 2003).
<i>Smart water management</i>	A transparent trade-off between multiple steering options is given by a quantified argumentation, this can be achieved by making use of an automated system such as regional control systems, DSS or model predictive control.

## Acknowledgements

Water board Hollandse Delta is in the orienting phase of implementing “Smart” water management. An exploratory study has been performed to the application of regional control systems and a decision support system in the Eendragt polder.

This thesis was written during my internship at water board Hollandse Delta. It offered the opportunity to further expand and apply the knowledge which was obtained during my master Water Science and Management at Utrecht University.

It provides an insight on how polder systems can be managed most efficiently during regular circumstances and weather extremes. This thesis offers important insights for water experts that are in the orienting phase of the application of Smart water management practices.

I would like to thank my supervisor Dr. Jaivime Evaristo from Utrecht University for given valuable feedback and support during my master thesis. I also would like to thank my supervisor Thijs Ijpelaar from water board Hollandse Delta for giving valuable feedback, support and providing new knowledge. By performing interviews during my thesis, I gained useful insights regarding Smart water management practices and current water management practices at WSHD, therefore I would like to thank the people that I have interviewed. Lastly, I would like to thank my family and friends for their persistent support.

I hope you appreciate your reading by gaining new insights.

Nathalie van Tricht  
Ridderkerk, 04-08-2021

## Summary

Due to climate change the Netherlands will have longer periods of droughts, and more extreme precipitation events during both summer and winter. It's in society interest to secure crop yield, ensure healthy water quality, prevent damage in urban areas and make the management cost-effective. "Smart" water management could contribute to uniform, transparent and efficient management decisions. Water board Hollandse Delta (WSHD) has set up a project called "New Control of the Water System, technical automation (NBWS-TA)" in which WSHD aims to set-up regional control systems (RCS's), which will be implemented into a SCADA-system (Supervisory Control and Data Acquisition). SCADA displays all assets connected to a PLC (Programmable Logic Controller). A RCS forms a set of rules that determines how multiple assets should be controlled during a certain situation. WSHD has the prospective to incorporate this into a Decision Support System (DSS) in which external data input is integrated. This thesis aims to develop RCS's for the Eendragt polder by answering the following research question; *How can the control of assets in the polder "De Eendragt" be integrated to have a water system that is adaptive to changing meteorological conditions?*

Firstly, the water management philosophy at WSHD has been explained. Secondly, the best practices of Smart water management have been evaluated. Thirdly, the management scenarios during regular circumstances, prolonged drought and periods of intense rainfall have been described and the corresponding management strategies have been explained. Fourthly, the effectiveness of the rainfall management strategy has been evaluated. Lastly, possible corresponding algorithms have been proposed.

WSHD must mitigate climate extremes and ensure clean and enough water in the polder. Watervordering "Zuid Holland" describes the maximal allowed increase in water level during an intense rainfall event. During regular circumstances, no intense rainfall events or prolonged droughts or exceptional events occur. During a prolonged drought, the water level drops further than the maximal allowed drop in water level. A rainfall event is considered intense if the maximal drainage capacity of 17 mm/day is exceeded. Currently, each scenario has a corresponding management strategy.

Before implementing a DSS, there must be a clear aim, it is a supportive system, reflecting reality. Local characteristics, initial state, type of rainfall event affects the impact of a rainfall event. In a DSS the uncertainty of a rainfall event can be diminished by postponing the decision, performing high frequent calculations, obtaining meteorological advice, high-quality data input, and data validation. The robustness of the water system affects the goals, which influences the input parameters. More data points offer an extra backup. Indirect values help to determine signal values.

During regular circumstances and a prolonged drought multiple (conflicting) interests should be incorporated and prioritized by WSHD. The heterogeneity of the Eendragt polder and seasonal variability makes it undesirable to design a management strategy based on land-use type. Therefore, only the "Equal filling degree" strategy and "Risk informed management" strategy focusing on mitigating an intense rainfall event have been elaborated further. Whereas the Equal filling degree strategy incorporates an equal filling degree in all sub-polders, the Risk informed management strategy classifies the sub-polders into vulnerability levels.

The management strategy Equal filling degree resulted in a more even water distribution and less inundation. This strategy is most effective if all weirs are automated and can reach a 100% filling degree. The results of the Risk informed management strategy were largely in alignment with the previous strategy. This could be caused by a too high rainfall intensity, or the chosen filling degrees could have an effect. The given algorithms can be specified and argued later according to the wishes of WSHD. In a DSS these algorithms could be expanded further by also utilizing external data input.

It can therefore be concluded that Smart water management offers great potential in the support for transparent, well-reasoned decisions. WSHD is still in the orienting phase. A clear prioritization of management goals and interests is needed, this could be achieved by conducting additional interviews or brainstorming sessions. Future research is needed to evaluate the potential of the Risk informed management strategy. This could be done by elaborating the vulnerability levels and chosen filling degrees in further detail. Although the SOBEM simulations consisted of several constraints, it provided valuable insights in the change in water levels when applying multiple management strategies.

# 1. Introduction

## 1.1. Climate change effects on weather extremes

### 1.1.1. Climate change effects on global precipitation patterns

Since the beginning of the industrial era, a worldwide increase in greenhouse gasses has been observed (Cubasch, et al., 2007). This has led to an increase in the number of warm days and heatwaves (Houghton, 2015). According to the Clausius-Claperyron relation these higher temperatures lead to an increase in the capacity of the air to hold water vapor (Pall, Allen, & Stone, 2007). This leads to a worldwide increase in average precipitation (Houghton, 2015). As a result, there is a higher chance of more intense precipitation events, less rainy days, and more prolonged droughts (Houghton, 2015).

In the year 2002 Europe faced destructive floods due to extreme precipitation and in August 2003 a widespread drought caused great damage in Europe. Since 1960 there is an increasing trend in annual precipitation in north-western Europe (European Environment Agency, 2017). Winter and summer in northern Europe have become wetter (Kundzewicz, Radziejewski, & Pinskiwar, 2006). To model the possible effects of these changes, SRES (Standardized Reference Emission Scenarios) has been set up. These scenarios consist of four storylines regarding population and economic growth worldwide (WHO, 2000). The SRES A2 scenario has a heterogeneous world, developments are regionally oriented with a focus on economic growth, self-reliance, and preservation of local identities (Nakicenovic, et al., 2000). Kundzewicz et al. (2006) simulated the SRES-A2 scenario by using data from the Hadley Centre's HadRM3 model for Europe to compare precipitation extremes for the period 2070-2099 with the period 1961-1990. The researchers compared the number of days with intense precipitation (precipitation > 10 mm) for the two periods in Europe, an increase in intense precipitation in northern Europe was observed in the period 2070-2099 compared to 1961-1990, see Figure 1.1 (Kundzewicz et al., 2006). A drought can be defined as a sustained period of below normal water availability (Van Loon, 2015). Meteorological droughts usually occur over a large area over an extensive period, during which there is a precipitation deficiency combined with increased evapotranspiration (Van Loon, 2015). This type of drought is often associated with heatwaves. By using the SRES A2 scenario Kundzewicz et al. (2006) predicted that the number of "dry" (precipitation < 0.5 mm/day) days in Europe are considerably longer in the period 2070-2099 compared to 1961-1990, see Figure 1.2.

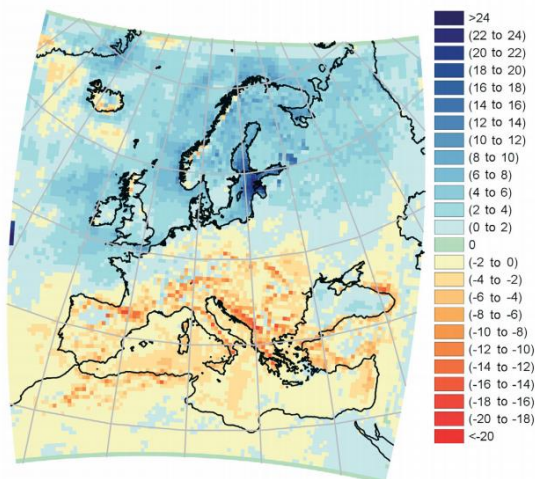


Figure 1.1: Comparison of number of days with precipitation >10 mm between the control period 1961-1990 and the future projection 2070-2099 by using the SRES A2 scenario (Kundzewicz et al., 2006).

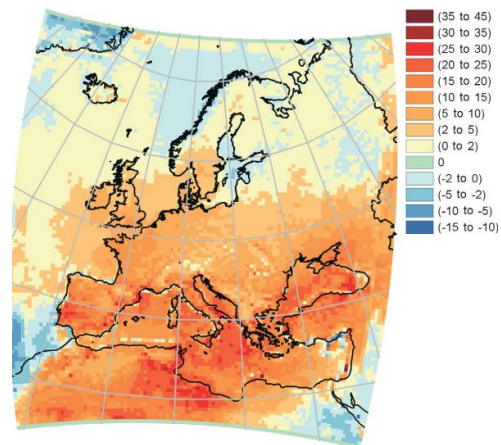


Figure 1.2: Comparison of the longest "dry" period (number of consecutive dry day with precipitation  $\leq 0.5$  mm) between the control period 1961-1990 and future projection 2070-2099 by using the SRES A2 scenario (Kundzewicz et al., 2006).

### 1.1.2. Climate chance effects in the Netherlands

In the Netherlands rainfall occurs evenly throughout the year with periods of high and low precipitation (Schuetze & Chelleri, 2011). The KNMI'14 scenarios provide a translation of the research results from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) published in 2013 (Klein Tank, Beersma, Bessembinder, Van den Hurk, & Lenderink, 2014).

Firstly, these KNMI'14 scenarios can be divided into two paths, depending on the predicted amount radiative forcing in the year 2100 relative to pre-industrial values (denoted as Representative Concentration Pathways). The "warm" KNMI'14 scenarios predict an increase of 8.5 W/m<sup>2</sup>, the "moderate" scenarios an increase of 4.5 W/m<sup>2</sup> (Houghton, 2015). The resultant temperature increase per scenario is shown in Table 1.1. In addition to an increase in radiative forcing, a distinction is made between "high" and "low" change in air patterns. A "high" change in air pattern corresponds to high pressure zones during summer. Eastern winds occur more frequently, during a "low" change in air pattern, resulting in warmer and drier weather. The four KNMI'14 scenarios as shown in Figures 1.3 and 1.4.

During summer longer periods of droughts are expected for the  $G_H$  and  $W_H$  scenarios. Similarly, for these scenarios more extreme precipitation events are predicted during both summer and winter periods. Additionally, hail- and thunderstorms are expected to become more intense in the future (Klein Tank et al., 2014).

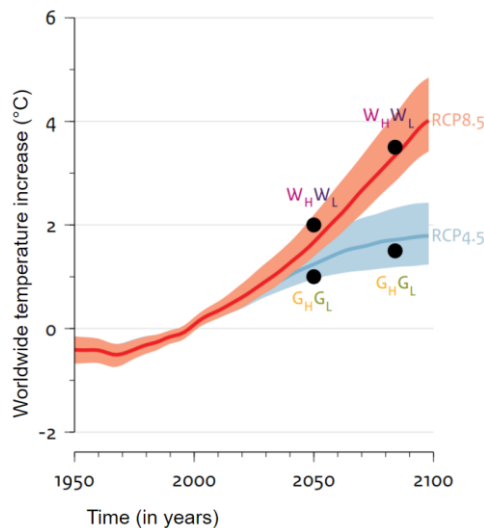


Figure 1.3: The red line shows the worldwide temperature increase in °C corresponding to an increase in radiative forcing of 8.5 W/m<sup>2</sup>. The KNMI'14 scenarios  $W_H$  and  $W_L$  are situated on this line. Similarly, the blue line shows the RCP corresponding to 4.5 W/m<sup>2</sup>; KNMI'14 scenarios  $G_H$  and  $G_L$  are situated on this line. The colored red and blue band indicate the uncertainty spread between the climate models (Klein Tank et al., 2014).

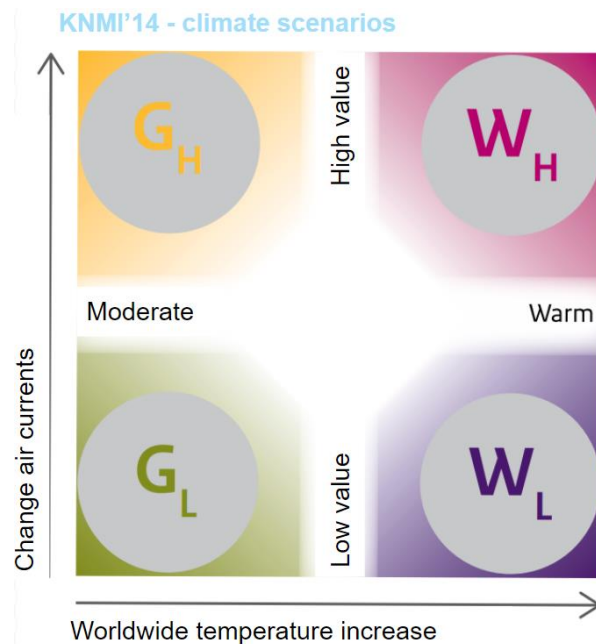


Figure 1.4: KNMI'14 scenarios  $G_H, G_L, W_L, W_H$ . (Klein Tank et al., 2014)

Table 1.1: Expected global averaged temperature increase in °C as modelled in the KNMI'14 scenarios (Klein Tank et al., 2014).

$G_H$ & $G_L$ moderate RCP 4.5	$W_H$ & $W_L$ warm RCP 8.5
2050 worldwide temperature increase 1°C	2050 worldwide temperature increase 2 °C
2085 worldwide temperature increase 1.5 °C	2085 worldwide temperature increase 3.5 °C

### 1.1.3. Challenges polder systems

In a natural hydrological system, the water balance is determined by groundwater flow, precipitation, and evaporation patterns. Historically ground and surface water levels in the western part of the Netherlands are however artificially stabilized. The western part of the Netherlands largely consists



of low-lying embanked lowlands, also known as polders. The polders are protected by dikes, the surplus of water is pumped out, as schematically displayed in Figure 1.5.

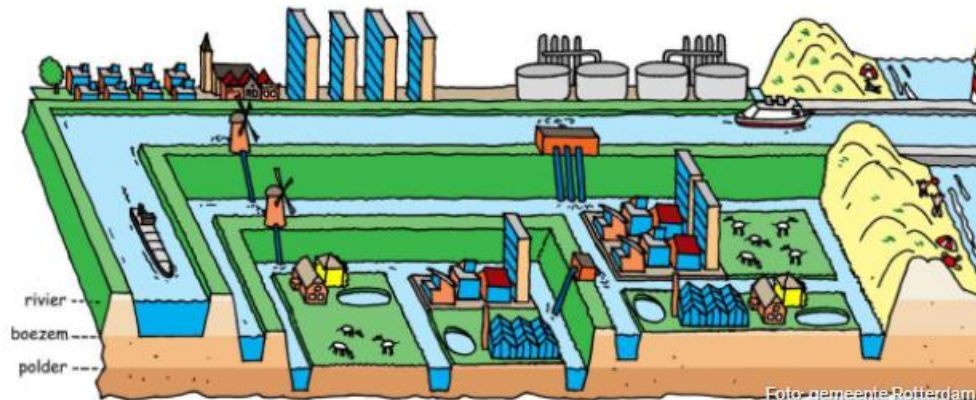


Figure 1.5: A typical Dutch polder system. The polders are protected by dikes, the surplus of water is pumped out (municipality of Rotterdam, 2021).

During summer months (April to August) the potential evaporation is higher than the rainfall, causing a negative natural water balance. During a hydrological drought, there is a lack of water in the hydrological system (Van Loon, 2015). This lack of precipitation causes a lack of runoff to supply the rivers. As a result, rivers in the western part of the Netherlands are not able to replenish polder systems with enough fresh water. This adverse effect is reinforced even more by groundwater seepage causing a treat to maintain a sufficient fresh water quality (Oude Essink, Stuyfzand, Van der Zee, & De Louw, 2010). A hydrological drought can partly be prevented by better utilizing the tidal fluctuation of the river. A soil moisture or agricultural drought occurs when there is a deficit of soil moisture, causing crop failure (Van Loon, 2015). This is closely linked with a socio-economic drought when the water resource does not meet the agricultural demands (Van Loon, 2015).

During cold winter months (September to March) there is a positive water balance, potential evaporation is lower than rainfall (Schuetze & Chelleri, 2011). During this period water must be pumped out of the polder system (Schuetze & Chelleri, 2011). Short but intense rainfall events can fall throughout the year. This can result in an exceedance of the infiltration capacity of the soil, which causes the soil to saturate, generating runoff (Merz & Blöschl, 2003). During an intense rainfall event the water level in the waterway could become higher, a too low storage and/or pumping capacity in the polder can cause inundation.

In the year 2018, the Netherlands experienced a long period of drought. This caused problems for proper water management and has led to freshwater shortages in agriculture resulting to lower crop yields (Läkamp, Van Hussen, Van de Velde, & Van der Kooij, 2019). This contrasts with heavy precipitation events, causing inundation of agricultural land and pluvial flooding's in urban areas. Too wet conditions could lead to an oxygen deficiency in crops, this hampers the exchange of oxygen and CO<sub>2</sub> between the soil and the atmosphere (Reidsma & Veraart, 2021). As a result, the roots can no longer function and die.

#### 1.1.4. Smart water management

More extreme precipitation patterns require regional adaptation to prevent inundation. By applying "Smart" water management a transparent trade-off between multiple steering options can be made by using a quantified argumentation. In the past several years developments have occurred to develop a Smart water management system. Van Overloop (2006) researched the applications of "Model Predictive Control" (MPC) in open water systems, by making use of water level measurements present near automated structures. A combination of feedback and feedforward control can be used to define steering rules for MPC systems. Feedback control generates decisions based on local water level measurements; feedforward control generates decisions based on hydrological models which predict water level fluctuations.

One of the earlier DSS developments is a pilot-DSS for the Tungelroyse Beek (Stuyt, et al., 2000). DSS's are also applied abroad at the Mendota canal located in California and at an irrigation canal W-M located in Arizona. As a result, the water supply to farmers could be timed and the spill

of water could be reduced (Van Overloop, 2006). Extreme precipitation events can quickly influence water systems. These situations require predetermined management strategies. Several water boards such as water board Hunze en As's, Noorderzijlvest and Delfland have implemented their own DSS (Lobrecht, Vos, Van Overloop, & Van Norel, 2005), (Schuurmans, Beukema, & Van Overloop, 2003), (Loos, Esenkbrink, Van Norel, & Lobbrecht, 2008). In 2004 Delfland had the following arguments for developing a DSS (Schuurmans et al., 2003);

- making trade-offs between water quality, water quantity and finance,
- being able to make reproducible decision making, independently from a water level manager,
- lowering workload for the water level manager,
- having a more frequent use of pumping stations,
- understanding the development of water levels, this is important for emergency situations,
- reducing energy use,
- collecting data from different sources.

## 1.2. Water management at WSHD

### 1.2.1. A new vision

Water board Hollandse Delta (WSHD) was formed on the 1st of January 2005. This was the result of the merging of water boards; Brielse Dijkkring, Goeree-Overflakkee, Groote Waard, IJsselmonde and a part of the wastewater treatment of Hollandse Eilanden en Waarden (WSHD, 2009). Each water board had its own policies and systems to manage their polder jurisdictions. The four regions of WSHD utilized six separate technical automation systems for the management of their automated pumps, weirs, and inlets (De Klerk & Van Riemsdijk, 2016).

Currently the water system is managed locally by a water level manager. Assets such as weirs, inlets and pumping stations work independently from each other. These assets can be either automated (controllable from a distance) or non-automated (only locally controllable). The non-automated assets are steered manually. The water level manager is responsible for the management strategy in the polder system based on specific regional knowledge and experience. For uniform, transparent, and efficient water management, predefined well-reasoned protocols are needed. This lowers the risk of a changing staff or the absence of employees. To facilitate decisions during critical situations important considerations must be made beforehand.

Moreover, a quick scan in 2015 concluded that the current technical automation of WSHD was not future proof (De Klerk & Van Riemsdijk, 2016). This was due to multiple identified bottlenecks such as the use of outdated software (a different TA-system per island), limited and vulnerable information dissemination, and a deficient coordination for maintenance and control of assets.

In a response to this, a new, future-proof vision on the technical automation (TA) within WSHD was formed and the project NBWS-TA (*Nieuwe Besturing Watersysteem, technische automatisering, or "New Control of the Water System, technical automation"*) was set up, based on the following vision (WSHD, 2018): "*WSHD aims to manage the water system proactively, optimally, efficiently for all weather conditions. This is done by making use of scenarios and **regional control systems**. The water system is being led centrally, and simultaneously it can be managed safely at every location. There is made use of uniform starting points, at any time the actual situation can be reported transparently*".

### *1.2.2. Technical automation at WSHD*

Currently, the water system is controlled locally. The technical automation at WSHD consists of the control of pumps, weirs and inlets via PLC's (Programmable Logic Controller) present on these assets, which are part of a network supervised by a SCADA-system (Supervisory Control And Data Acquisition) (De Klerk & Van Riemsdijk, 2016). These assets work independently of each other.

To achieve a well-integrated and proactive polder system, as described in the earlier mentioned vision, WSHD aims to manage the water system into 3 levels of increasing steering complexity: local control/manual, regional control systems (RSC's), and a Decision support system (DSS). During failure or the occurrence of unexpected circumstances, it must always be possible to return to the previous level. Figure 1.6 gives a simplified schematization of important steps in the technical automation program.

WSHD has legal responsibility for the water system. WSHD has set goals and has made agreements with multiple organizations. The goals of WSHD are translated into a "peilbesluit" for the Eendragt polder and policy rules for water management.

The RCS's are part of the second management level. A RCS forms a set of rules that determines how the water system should be controlled during a certain situation. In a RCS, these assets operate interactively, utilizing real-time data available within the SCADA-system. A RCS can be applied for multiple scenarios. During a prolonged drought, for example, multiple assets present in the polder system are activated to retain water. The same can be applied during an intense rainfall event. The surplus must quickly be pumped out or must be divided evenly throughout the polder. Multiple weirs can simultaneously be pulled up or downwards. Weirs located downstream in the polder can respond to a change in settings of the weirs located upstream. By making use of Smart water management the regional water manager can manage the water system more efficiently. By doing this it can anticipate to increasing pressures that are caused by more extreme weather events, higher agricultural needs, and an increase of impermeable areas. This way, negative climate events can be limited. The effectiveness of each RCS will be evaluated. The corresponding algorithms will be processed into SCADA. The algorithms consist of a combination of various if-else statements of varying complexity, which will be grouped under the different scenarios. A feedback loop is used to check whether the goals and legal obligations are met.

The development of the RCS forms the foundation for the third management level. As part of the development of the DSS, the RCS's as defined in SCADA can be activated. The underlying architecture of the DSS is to be designed in such a way that it can gather various types of external information, such as river levels, weather forecasts, model output, water quality, energy prices etc., in addition to the information available at the PLC/SCADA level. A DSS can be developed with multiple levels of complexity. As a first option, the DSS models can predict certain scenarios. Based on these predictions the DSS can give recommendations on which RCS could best be applied. At a more complex level, the DSS anticipates automatically on predicted changing circumstances; management of the water system is completely automated. The development of the 3 management levels is a dynamic process, at which the most appropriate management strategy changes based on new insights or developments.



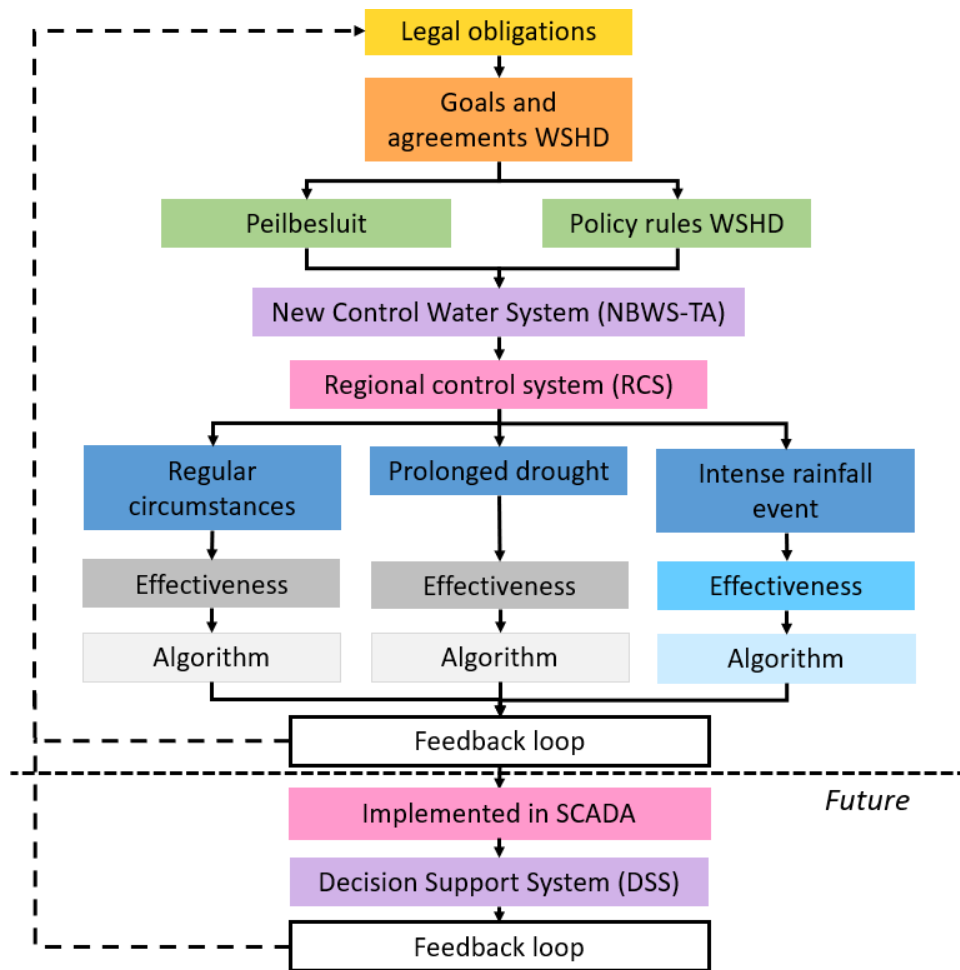


Figure 1.6: Schematization of technical automation program.

### 1.3. Societal significance

Weather conditions such as a prolonged and more frequent droughts and more intense precipitation events leads to a growing pressure on society. At the same time, the demands and expectations of stakeholders in polder systems have become increasingly higher in the past decades. Polder systems have a limited resiliency to a surplus or a deficit of water. The dimensioning of the assets and the waterways determine to which extent the water level in the polder can be managed. This, together with sometimes competing regional interests, challenges water managers to make proper management decisions by carefully weighing these conflicting interests.

Since the second half of the 20<sup>th</sup> century Dutch farmers have invested considerable amounts of money in agriculture (CBS, 2017). The production and the productivity of agriculture and horticulture increased, as a result the total agricultural yield in 2015 was five times higher compared to 1950 (CBS, 2017). Proper water management in the polder system is of great importance for these farmers to secure their crop yield, as intensified precipitation events and prolonged droughts can lead to crop failure and salinization.

Secondly, the management of the water system must also be in harmony with nature. Various waterways of EU member states must conform to the standards set by the Water Framework Directive (WFD), in Dutch also known as "Kaderrichtlijn Water" (WFD, 2005). The WFD aims to protect and improve the quality of surface water and the quantity and quality of groundwater (WSHD, 2015). Salt seepage origination from the sea and a large nutrient load consisting of nitrogen and phosphorus originating from agricultural practices, threatens the water quality in the polder (Oude Essink & De Louw, 2014) & (Fraters, et al., 2016). To ensure a healthy living environment for aquatic life enough freshwater is needed to flush the water system (WSHD, 2015).

Thirdly, good water management is also of great importance for urban areas present in the polder system. Low urban water levels might cause land subsidence or degradation of wooden pile foundations (Mettrop, et al., 2012), higher water levels might cause inundation leading to damage

to houses or infrastructure. The last important factor are the societal costs for managing the water system. As a separate governmental organisation WSHD levies its own taxes, it is in society's best interest to make water management cost-effective.

#### 1.4. Scientific significance

For managing the polder system, a variety of choices can be made. Currently, the choices that are made for steering the water system are based on experience and specific knowledge about the water system at the level of water level managers. The argumentation for those choices is however not defined quantitatively. In the future more extreme weather conditions will occur, during those situations it is of great importance that the polder system is steered most effectively by considering multiple interests. During these events decisions must be made in a relatively short time frame. Scenarios that simultaneously steer multiple assets as efficiently as possible could be implemented to reach a common goal. Currently, it is however not quantified which set of measures is most effective in reaching the goals set by WSHD. To make a proper and transparent trade-off between multiple steering options it is essential to be able to provide a quantified argumentation. By applying these standardized and quantified procedures, the water manager will have a transparent and optimal steering method. Specific outcomes and recommendations gained from this thesis, can be used in later scientific research when applying similar methods in optimizing the polder systems.

#### 1.5. Research aim + research questions

##### 1.5.1. Aim

The goal of this thesis is to develop a theoretical framework to automate the control of water management structures in the polder "De Eendragt" (hereinafter referred to as Eendragt polder) located in the management area of WSHD. Lessons learned at the Eendragt polder could later be applied at other locations inside or outside the management area of WSHD. This automation helps WSHD to better fulfil its primary goals and enables it to anticipate changing meteorological circumstances, in both the short and long term. To achieve this, this thesis aims to develop "regional control systems" (RCS's) which allow the implementation of certain scenarios, by controlling different assets present in the polder simultaneously. RCS's will be elaborated for regular circumstances, prolonged drought, and intense rainfall events.

This thesis aims to consider multiple societal interests by incorporating them in multiple scenarios. Moreover, other companies have dealt with similar questions regarding Smart water management. To get a more comprehensive view this thesis intends to give insight into their understanding regarding Smart water management. Which lessons did they learn, and how can this be incorporated into future developments of WSHD? The obtained lessons could be used to make the RCS's more applicable for future developments.

The automated assets present in SCADA can be used for the RCS. For one scenario this thesis has the objective to investigate how the assets present can be optimally used, or whether more steering options are needed. This will be incorporated by giving examples of possible algorithms. The implementation of the RCS's into the SCADA and the development of a DSS are outside the scope of this thesis.

##### 1.5.2. Research question

This thesis aims to answer the following main question:

- ❖ *How can the control of assets in the polder "De Eendragt" be integrated to have a water system that is adaptive to changing meteorological conditions?*

To answer the main question multiple sub-questions are defined:

1. What are the fundamental **water management goals** of WSHD and how are these goals presently implemented?
2. What are the **best practices** in the application of "Smart" water management tools such as DSS and regional control systems?
3. How can the changing meteorological conditions and water management goals be integrated based on three **scenarios**: regular, prolonged drought and intense rainfall?

4. What is the **effectiveness** of the management strategies to mitigate the effect of an intense rainfall event and **what is needed** for an optimal result?
5. How can the management strategies that mitigate the effect on an intense rainfall event be translated into corresponding **algorithms**?”.

## 2. Method

### 2.1. Study Area

This thesis focusses on making RCS's for the Eendragt polder located in municipality Hoekse Waard, see Figures 2.1 and 2.2. Photos of the Eendragt polder can be found in Appendix 1. Currently, eleven assets are present in the Eendragt polder and are connected to SCADA, soon more PLC's will be connected. The Eendragt polder will be used to gain further experience for the automation program.

The Eendragt polder has a total area of 6078 hectares (Kuipers & De Ruiter, 2021). Table 2.1 gives an overview of the agricultural sub-polders and nature reserves. The polder consists of 73.4% of agriculture, spread out across the polder are an orchard (0.1%), fruit cultivation (2.0%), greenhouse horticulture (0.03%) and grassland (4.4%) (Stoutjesdijk, 2015). The Eendragt polder consists almost entirely of young sea clay, which is a mixture of sandy and light clay (Stoutjesdijk, 2015). The Eendragt polder contains two nature reserves called "Grote Gat" and "De Drom", (see Figure 2.2, indicated as P-H02.012 and P-H02.004.AP01)

Each year the Eendragt polder experiences a few millimeters of land-subsidence. Spread out over the area are houses with wooden foundations, a high voltage power line and archaeological traces sensitive to land-subsidence. Therefore water-level fluctuation of more than 5 centimetres must be prevented (Stoutjesdijk, 2015).

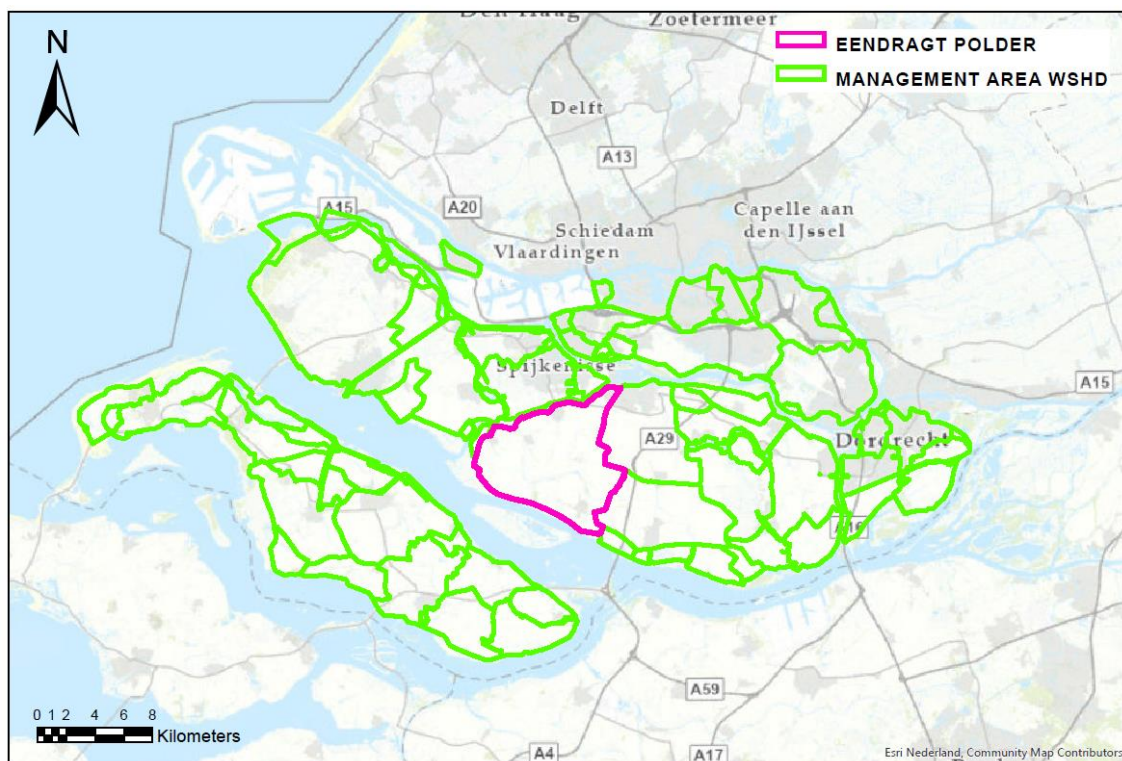


Figure 2.1: Location of polder the Eendragt located in the management area of WSJD

Table 2.1: Agricultural sub-polders and nature reserves (Stoutjesdijk, 2015). VP stands for fixed water all year round, ZP stands for fixed water level during summer period (April till October), and WP stands for fixed water level during winter period (October till April) (Stoutjesdijk C. , 2015).

	Name	Water levels (in meters NAP)
<b>Agricultural sub-polders</b>		
P-H02.001	Polder Oude Korendijk/Polder Groot-Zuid-Beijerland	-2.00 (VP)
P-H02.002	Polders Klein- en Oud-Piershil, N.- en Molenpolder	-1.60 (VP)
P-H02.004	Polders Nieuw-Piershil en Nieuw-Beijerland	-1.75 (VP)
P-H02.005	Polder Klein-Zuid-Beijerland	-1.60 (VP)
P-H02.006	Eendragtspolder Zuidwest	-1.50 (VP)
P-H02.007	Eendragtspolder Oost	-1.50 (VP)
P-H02.008	Polder Groot-Zuid-Beijerland (ged.) ZW.	-1.30 (ZP) and -1.50 (WP)
P-H02.009	Polder Groot-Zuid-Beijerland (ged.) N.	-1.50 (VP)
P-H02.010	Eendragtspolder Noordwest	Flexible water level: Upper limit: -1.20 Lower limit: -1.50
P-H02.011	Polder Oude Korendijk, hoek Hogendijk	-1.75 (VP)
<b>Nature reserves</b>		
P-H02.012	Groote Gat	-1.35 (ZP) and -1.25 (WP)
P-H02.004.AP01	De Drom	-1.35 (VP)

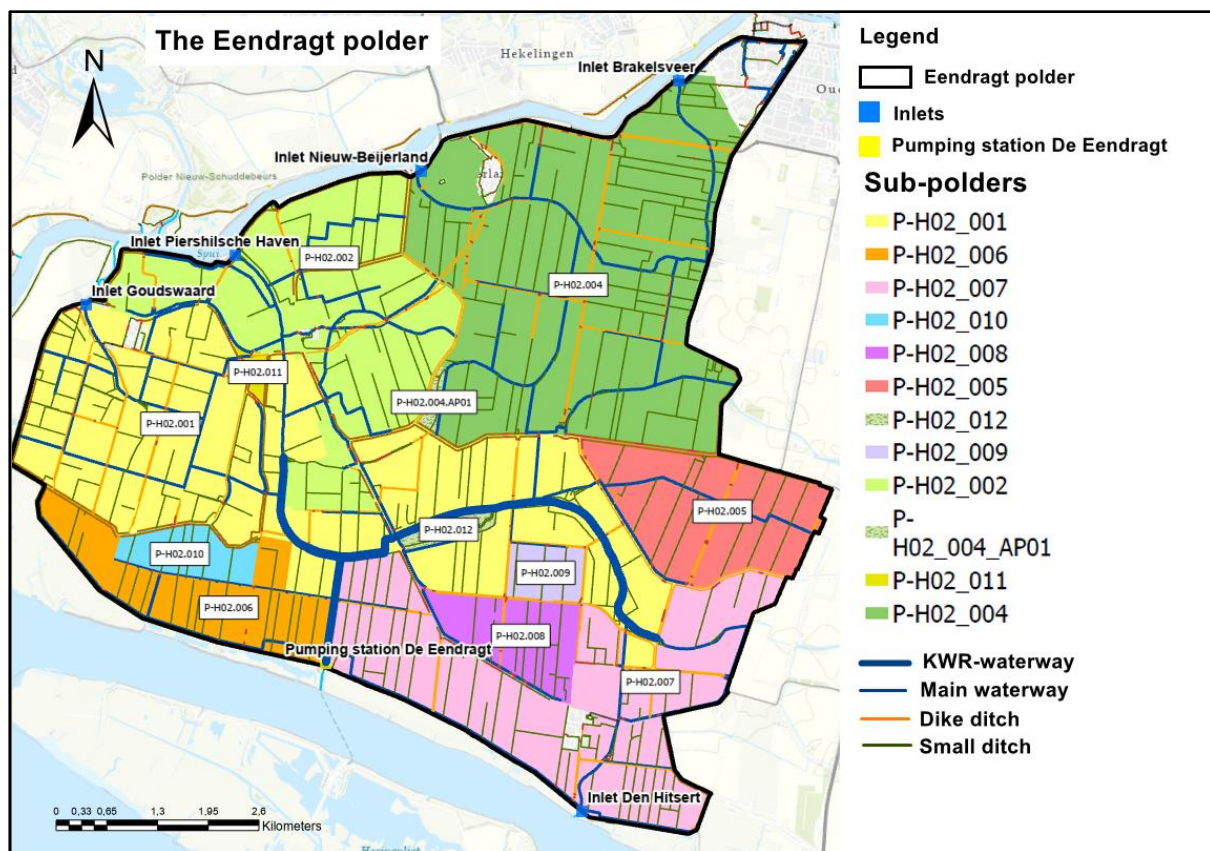


Figure 2.2: A detailed image of the Eendragt polder showing the various sub-polders and variations in waterways.



River water enters the Eendragt polder at 5 inlets and is pumped out at main pumping station De Eendragt, see Figure 2.3, specifications can be found in Appendix 2. The water level in the polder is managed by weirs and small pumps, see Figure 2.4 and Figure 2.5. The weirs are categorized in adjustable automated, adjustable not automated, not adjustable (fixed). The pumps maintained by WSHD can be used for managing the polder.

The KRW-waterway named Piershilse Gat/Visserstvliet receives water from the whole polder area (see Figure 3.6); therefore, this waterway can be used to determine whether the Eendragt polder has sufficient water quality (Stoutjesdijk, 2015).

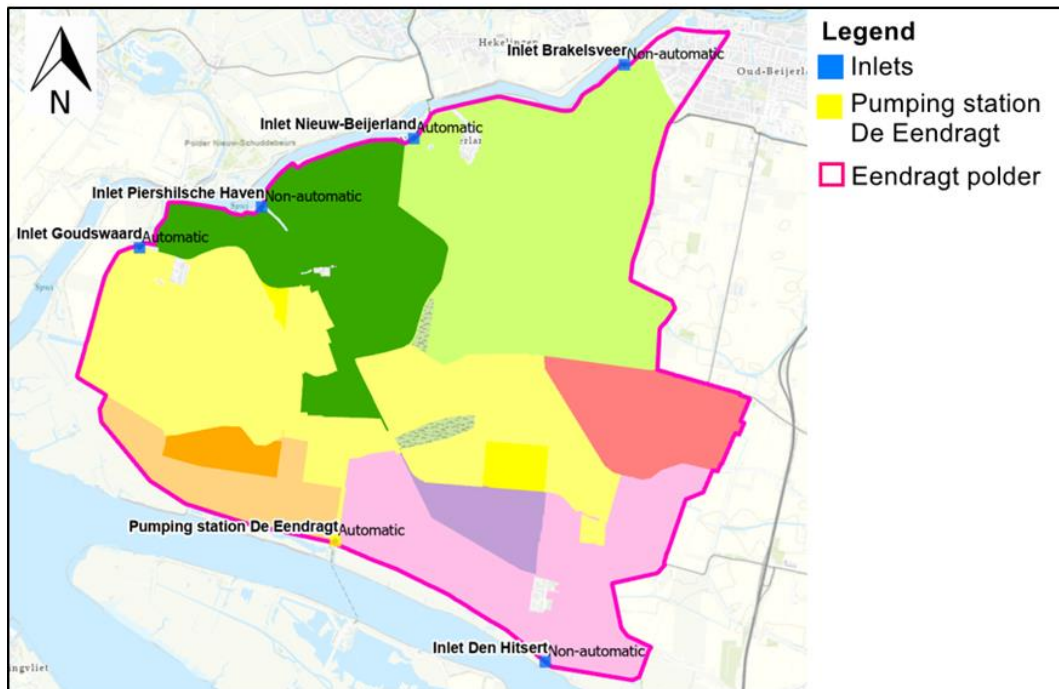


Figure 2.3: Inlets and pumping station De Eendragt

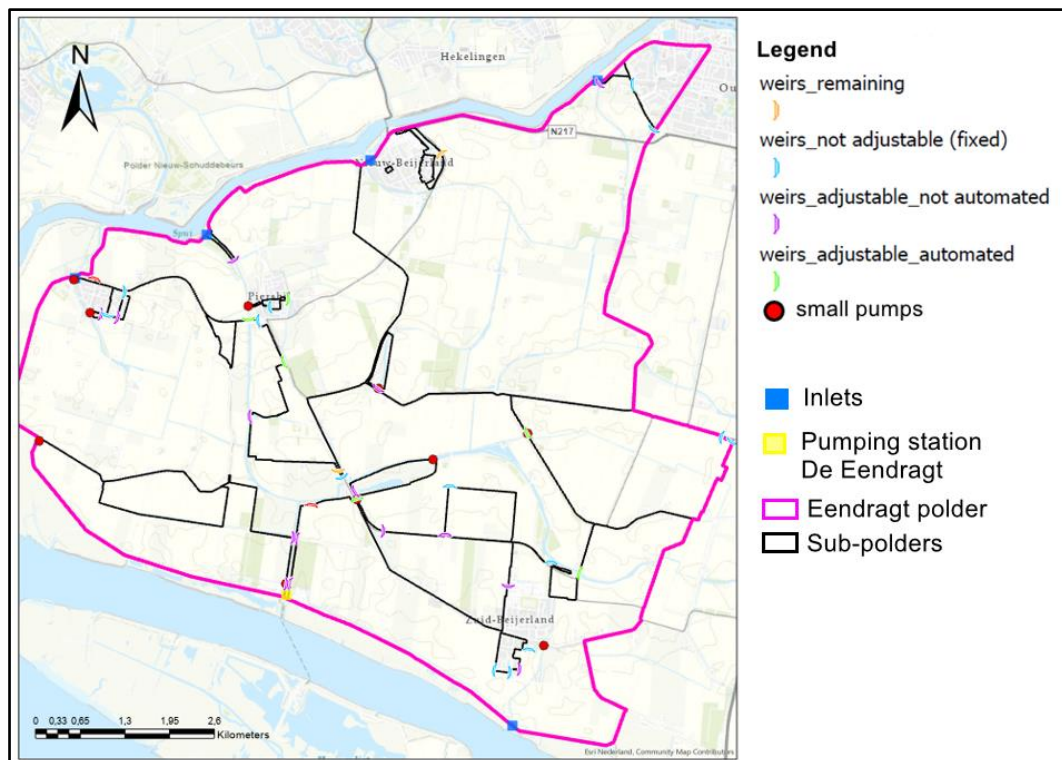


Figure 2.4: Weirs in the Eendragt polder

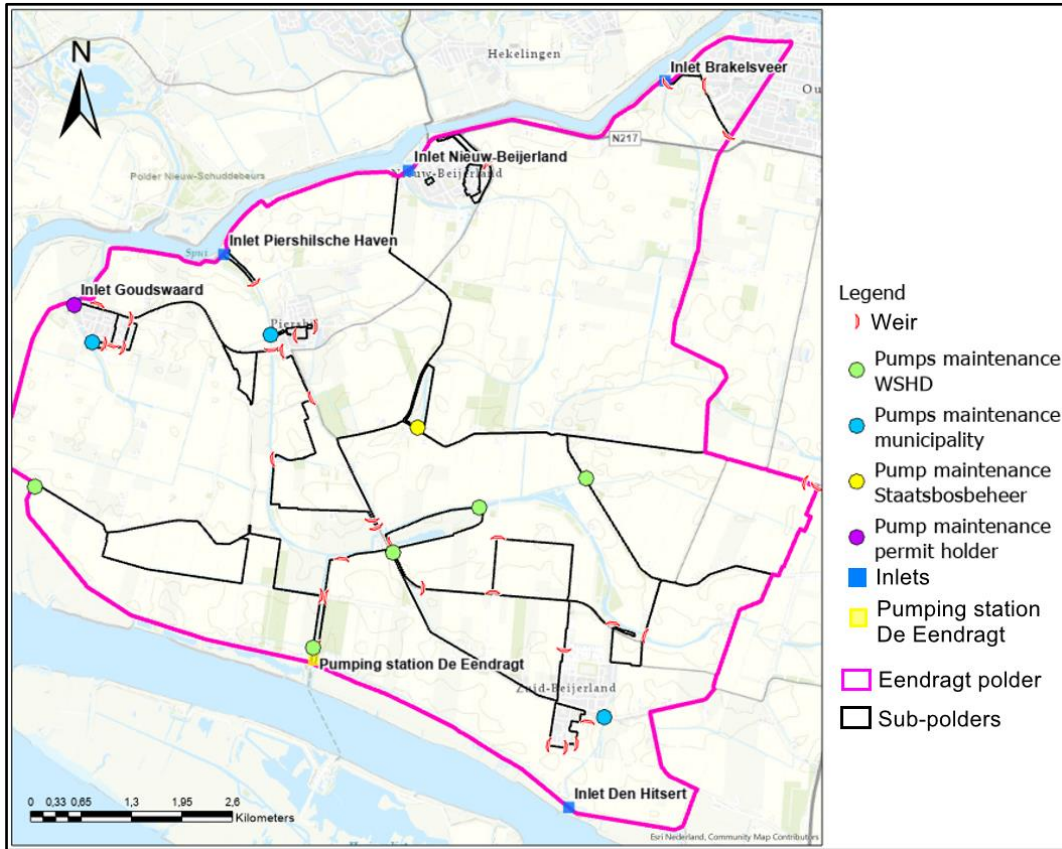


Figure 2.5: Small pumps in the Eendragt polder



orientation phase for the application of Smart water management, therefore semi-structured interviews have been conducted. This has led to a wide range of new insights.

3. How can the changing meteorological conditions and water management goals be integrated based on three **scenarios**: regular, prolonged drought and intense rainfall?

This sub-question elaborates the management goals for the following scenarios: regular circumstances, prolonged drought, and an intense rainfall event. For each scenario, it has been considered how the interests and goals could best be integrated in a corresponding management strategy.

4. What is the **effectiveness** of the management strategies to mitigate the effect of an intense rainfall event and **what is needed** for an optimal result?

The suggested management strategy to mitigate the effect of an intense rainfall event has been evaluated. The management strategies of the other scenarios have not been elaborated further. The effectiveness to mitigate the intense rainfall event has been evaluated by performing multiple simulations into SOBEK. A SOBEK model of the Eendragt polder has been made by importing data out of GIS.

SOBEK is a modelling program that is used for irrigation and drainage systems analysis, and the optimization of control systems for waterways (Deltares, 2021). GIS (Geographic Information System) has helped to give specific information regarding topography and has given information regarding land-use, storage possibilities, and the locations of the current assets and waterways present in the polder. After importing data out of GIS, the SOBEK model has been improved and finalized further. This SOBEK model has served as a toolbox to investigate how multiple assets interact with each other.

Multiple simulations in combination with an intense rainfall event have been performed into SOBEK. In each simulation, the parametrization of the assets has been changed. At multiple measurement locations, the maximal increase in water fluctuations has been compared. The RCS's can only make use of the information that is available in SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), this includes information regarding the water levels nearby the assets. The simulations have helped to evaluate whether the current automated assets present in the Eendragt polder can be optimally utilized, or whether more data points or automated assets are needed. Additionally, the effectiveness of the predefined management strategies has been evaluated. Together this has helped to generate insights into the coherence of the multiple assets in the polder.

5. How can the management strategies that mitigate the effect on an intense rainfall event be translated into corresponding **algorithms**?

This step gives possible algorithms which could be applied to SCADA to mitigate the effect of an intense rainfall event. An algorithm combines critical control points in a standard set of proceedings for assets such as inlets, weirs, and pumping stations. The standard set of proceedings incorporates the predefined boundary conditions of the corresponding predefined management strategy. The steering rules are based on activation thresholds values, for example: "If the water level at location A is higher than X m NAP, then the height of the weir should increase X centimetre".



### 3. Results

#### 3.1. Question 1: Water Management goals WSHD

This paragraph discusses the following sub-question: “What are the fundamental **water management goals** of WSHD and how are these goals presently implemented?”. This chapter consists of three sub-chapters: water management goals WSHD, translation Eendragt polder and current management strategies.

##### 3.1.1. Water management goals WSHD

Figure 3.1 shows how the management goals of WSHD are established, Table 3.1 gives a more detailed explanation. The central government, provinces, municipalities, and water boards have agreed to the “Nationaal Bestuursakkoord Water”<sup>1</sup> and to the “Deltaplan Zoetwater” (*in English “freshwater”*) which is part of the Deltaprogramme.

The Waterwet and the Waterschapswet form the most important laws to WSHD. Article 1(1) of the Waterschapswet gives water boards a duty of care (zorgplicht) for the regional water system. WSHD has translated the rules to protect flood defenses, waterways, and assets in the “Keur” (Rijkswaterstaat, 2021). In the Keur, the general requirements for the water system are described. Article 2.1. of the Waterwet describes the main task of WSHD, and Article 5.2. obligates the water board to set up a “peilbesluit” for the regional water system.

During more intense rainfall events the water board cannot always guarantee that the water level will not exceed the maximal allowed fluctuation that is applicable in regular circumstances (+- 10 centimeters). During these events, the maximal allowed increase in water is dependent on the return period of a certain rainfall event. During more intense rainfall events, it may be unavoidable that the water level in the waterway becomes higher than the ground level, causing inundation. In the Waterverordening Zuid-Holland (*in English “Water Regulation South Holland”*), the maximum allowed flood probabilities per land type are given. During a prolonged drought WSHD must be able to demonstrate that potential damage is maximal prevented. The effectiveness of measures however lowers if the situation becomes more severe. If the situation is more critical the displacement series comes into force (Article 2.9 Waterwet & Article 2.1 Waterbesluit). The displacement series prioritizes the use of water. During a prolonged drought WSHD may empower an irrigation ban, as stated in the Keur Article 3.7 (Keur voor waterschap Hollandse Delta, 2018). The general management goals of WSHD are outlined in “Waterbeheerprogramma 2016-2021”, see Table 3.2.

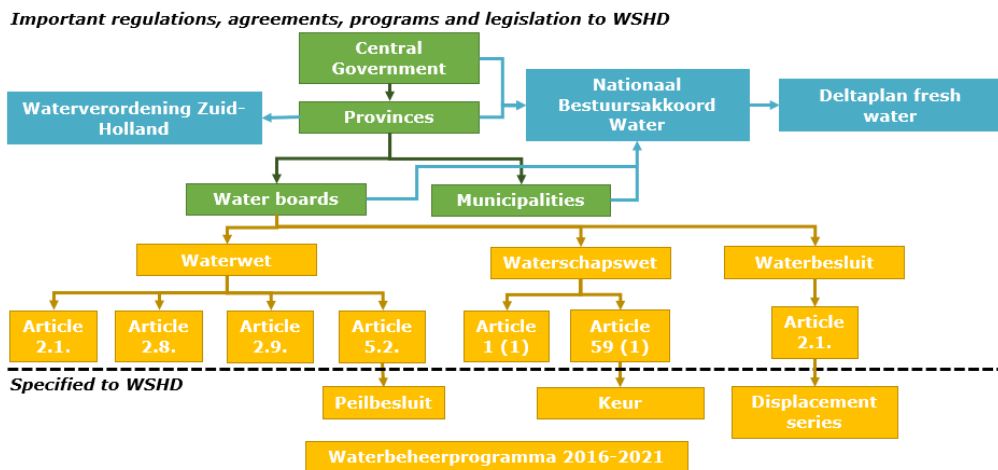


Figure 3.1: The green boxes show the governmental organisations in a hierarchical order. The blue boxes show important agreements, programs and regulations which are relevant to WSHD. The yellow boxes are of direct importance to WSHD.

<sup>1</sup> Provinces are represented at “Samenwerkingsverband Interprovinciaal Overleg”, municipalities are represented at “Vereniging van Nederlandse Gemeentes” and the water boards are represented at the “Unie van Waterschappen”

Table 3.1: Detailed explanation general water management goals WSHD

<b>Agreements</b>	
<b>Nationaal Bestuursakkoord Water</b>	Aimed to reassure a well-functioning water system that anticipates changing circumstances such as a changing climate and an increase of impermeable surface areas (Rijksoverheid, 2001). Water boards aim to prevent flooding and to take measures against water shortages (Rijksoverheid, 2001)
<b>Programs</b>	
<b>Deltaplan Zoetwater</b>	Deltaplan Zoetwater 2020 aims to ensure an adequate fresh water amount in the Netherlands during periods of droughts (BZK, IenW, ministerie van LNV, 2019). To achieve this it is necessary to limit unnecessary water use and efficiently utilize and distribute the available water that is present in the water system (BZK, IenW, ministerie van LNV, 2019).
<b>Regulations</b>	
<b>Water regulation South Holland</b>	Depending on the type of land-use and the corresponding theoretical damage, different standards have been established in average flood probabilities (Waterverordening Zuid-Holland, 2009). The maximum average flood probabilities are described in article 2.3 (2) of the Waterverordening Zuid-Holland.
<b>Water boards</b>	
<b>Waterwet</b>	Article 2.1: Obligates water boards to give protection against flooding, pluvial flooding, and water shortages in correspondence with the protection and improvement of the water quality.
	Article 2.8: Obligates provinces to lay down the standards for the maximal permitted flooding probability per land-use in a provincial water regulation.
	Article 2.9: Provides the legal basis for a displacement series during a water shortage.
	Article 5.2: Obligates water boards to determine fixed water levels for the regional water system in a "peilbesluit".
<b>Waterschapswet</b>	Article 1 (1): Regional water systems are designated with a care of duty. Water boards are responsible for drainage in urban and rural areas, the water quantity, and the water quality of the water system.
	Article 59(1): Water boards have a regulatory competence. This is documented in a management regulation also known as "Keur", at which general requirements are described.
<b>Waterbesluit</b>	Article 2.1: Formulates the displacement series. A distinction is made between the following categories with a decrease in prioritization; <ol style="list-style-type: none"> <li>1. water safety and preventing irreversible damage to dikes, land-subsidence, and nature,</li> <li>2. drinking water supply and energy supply,</li> <li>3. small-scale and high-quality use such as temporal irrigation of capital-intensive crops and process water,</li> <li>4. remaining interests such as shipping, agriculture, nature, industry, water recreation, and inland fishing.</li> </ol>

Table 3.2: Water beheerprogramma 2016-2021

<b>Water beheerprogramma 2016-2021</b>	
<b>Main Aim</b>	To achieve sustainable water management, WSHD strives to have a climate robust water system, limit diffuse contaminations, and reduce energy use (WSHD, 2015). The management of the polder system needs to be pro-active, ensuring that the polder system anticipates rapidly to expected changes, such as changing needs regarding water target levels, storage or drainage capacity, weather conditions, and energy costs. In the long term, the water management program aims to manage and realize "enough" and "clean" water.

<b>Enough</b>	By having “enough” fresh water in the water system it aims to be robust and climate-resistant (WSHD, 2015), this means that each polder has the necessary capacity to be resilient against future climate scenarios (Bakker, 2014).
<b>Clean</b>	The term “clean” water refers to having an ecological healthy water system that can facilitate usage functions by ensuring a sufficient water quality that meets the chemical and ecological norms of the WFD.
<b>Strategy</b>	The strategy to retain, store and discharge is the main procedure for managing the water system within WSHD during intense events (Bakker, 2014). The management of the polder systems focuses on having consistent water levels and consistent flushing of the water system (WSHD, 2015).

### 3.1.2. Translation Eendragt polder

The water management goals of WSHD are specified for the Eendragt polder. The Waterverordening Zuid-Holland, peilbesluit, the Keur and the Waterbeheerprogramma 2016-2021 will be elaborated upon in more detail.

#### 3.1.2.1. Maximal allowed flood probabilities Eendragt

Figure 3.2 shows the different land-use types in the Eendragt polder, Table 3.3 shows the corresponding flood probability norms according to the Waterverordening Zuid-Holland. Figure 3.3 visualises the maximal allowed flood probabilities in the Eendragt polder.

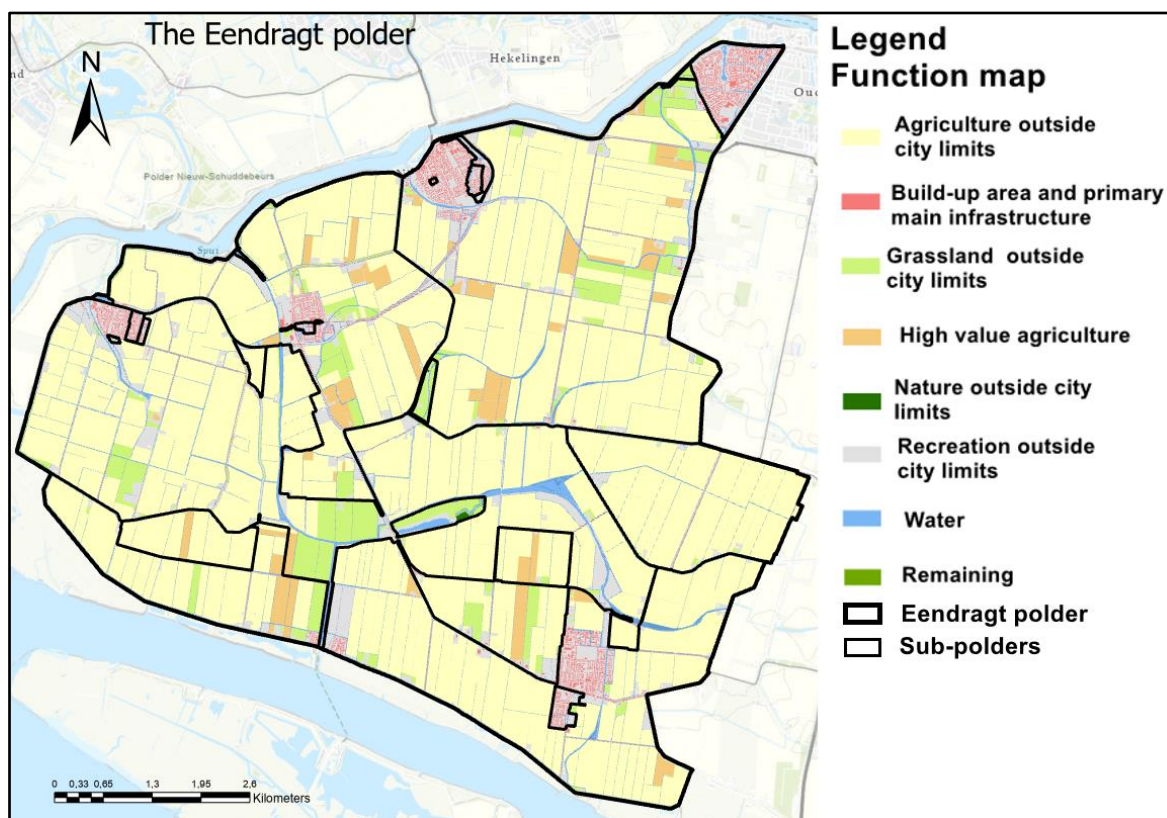


Figure 3.2: Land-use types in the polder the Eendragt.

Table 3.3: Norms floods probability per land type. Groundwater criterium is the percentage of area that does not have to comply with the standard (Rijkswaterstaat, 2021)

Norm related to land type		Norm	Ground level criterium
Within built-up areas	Built-up area	1/100	0%
	Greenhouse horticulture	1/50	1%
	Remaining	1/10	5%
	Main infrastructure	1/100	0%

<b>Outside built-up areas</b>	Greenhouse horticulture and high-quality agriculture and horticulture	1/50	1%
	Agriculture	1/25	1%
	Grassland	1/10	10%

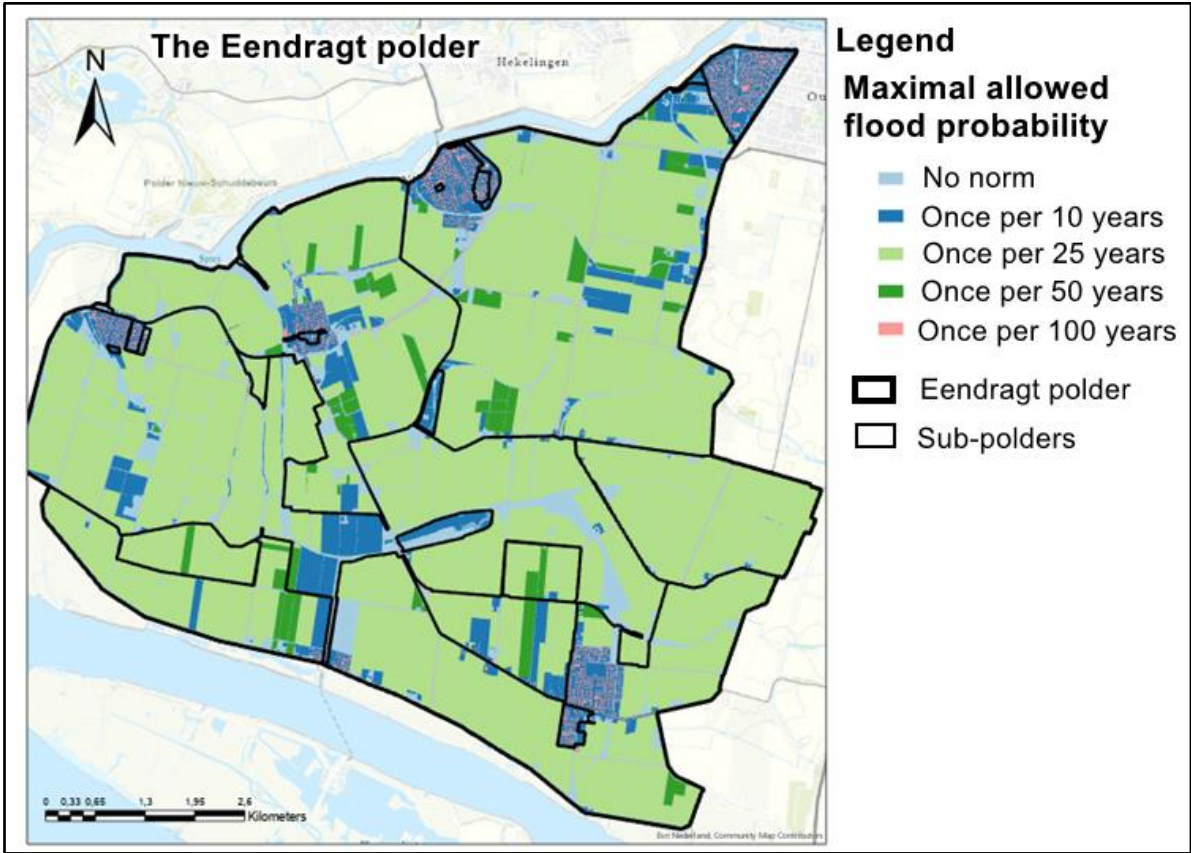


Figure 3.3: Maximal allowed flood probability as stated in the water regulation of South Holland.

3.1.2.2. Design requirements

The most important design requirements of the Keur for the Eendragt polder are shown in Table 3.4.

Table 3.4: Design requirements (WSHD, 2015).

Subject	Existing objects	New Objects
Water drainage standard	Min 1.5 l/s/ha	Min 2 l/s/ha (or 17 mm/day)
Water supply standard	Min 0.4 l/s/ha	Min 0.5 l/s/ha (or 4 mm/day)
Flow velocity in waterways during water supply	Max 0.2 m/s	Max 0.2 m/s
Flow velocity nearby assets such as weirs, and pumps during water supply	Max 0.1 m/s	Max 0.1 m/s

3.1.2.3. Peilbesluit

The water levels in a “peilbesluit” are in correspondance with the natural height differences. Figure 3.4 shows the differences in height. In Figure 3.4 red circles are shown, at these locations ground levels are higher in comparison to the surrounding area, making it more difficult to transport water to these locations. Sub-polders P-H02.004 and P-H02.001 (see Figure 2.2) lie relatively low, enabling natural water flow from high to low. The KRW-waterway is recognizable in the landscape (see Figure 2.2, for location KRW-waterway).



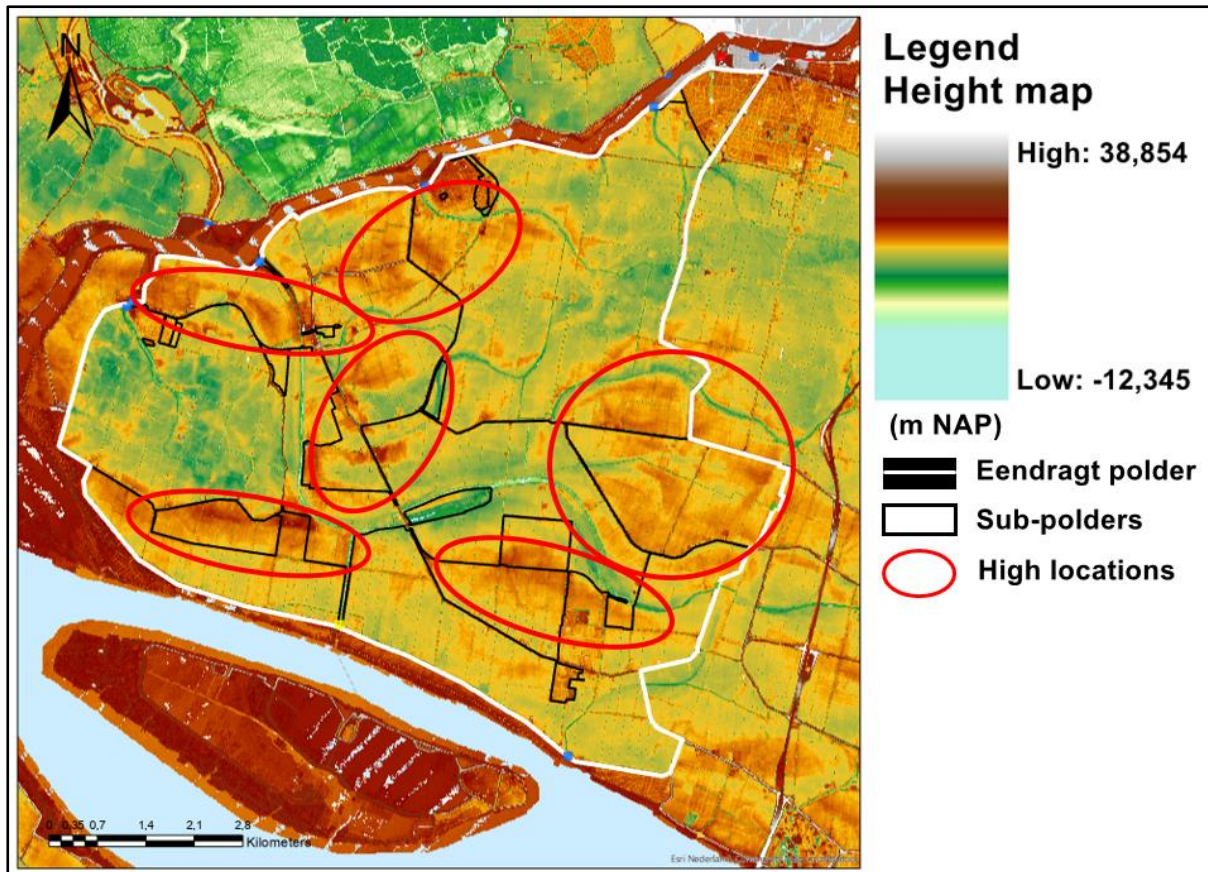


Figure 3.4: Height differences in the polder. At the red circles, the main ground lies higher than the surrounding area.

Additionally, a variety of interests are considered into a “peilbesluit”, the preferred water levels are based on the requirements for a given land-use. In a “peilbesluit” a distinction is made between: a fixed water level all year round (VP), a fixed water level during summer period (ZP), a fixed water level during winter period (WP) and a flexible water level with a maximum and minimum value (FP). For agricultural grounds, a high summer water level and a low winter water level is preferred (Boeyen, Stoutjesdijk, & Van Gorsel, 2013). A flexible water level can be applied to secure the water supply or to improve the water quality (Boeyen et al., 2013). Figure 3.5 shows the height differences in water levels according to the “peilbesluit”, as explained in Table 2.1.

All sub-polders except sub-polders P-H02.008, P-H02.010 and P-H02.012 have a fixed water level all year round, (see Table 2.1). The water levels in these sub-polders may deviate plus or minus 10 centimetres from the target level (Kuipers & De Ruiter, 2021).

All the water originating from the inlets flows from north to south, from a high to low water level, to sub-polder P-H02.001. Sub-polder P-H02.001 has a height of -2.00 m NAP. Ideally, the water originating from inlet Den Hitsert flows northwards to sub-polder P-H02.001, a model study however concludes that a large part of the water, let in at inlet Den Hitsert flows directly to pumping station the Eendragt, whereafter it is pumped out of the polder system, current research is being done to prevent this (Maandag & De Ruiter, 2018). Additionally, small pumps pump extra water in sub-polders P-H02.005 P-H02.006.

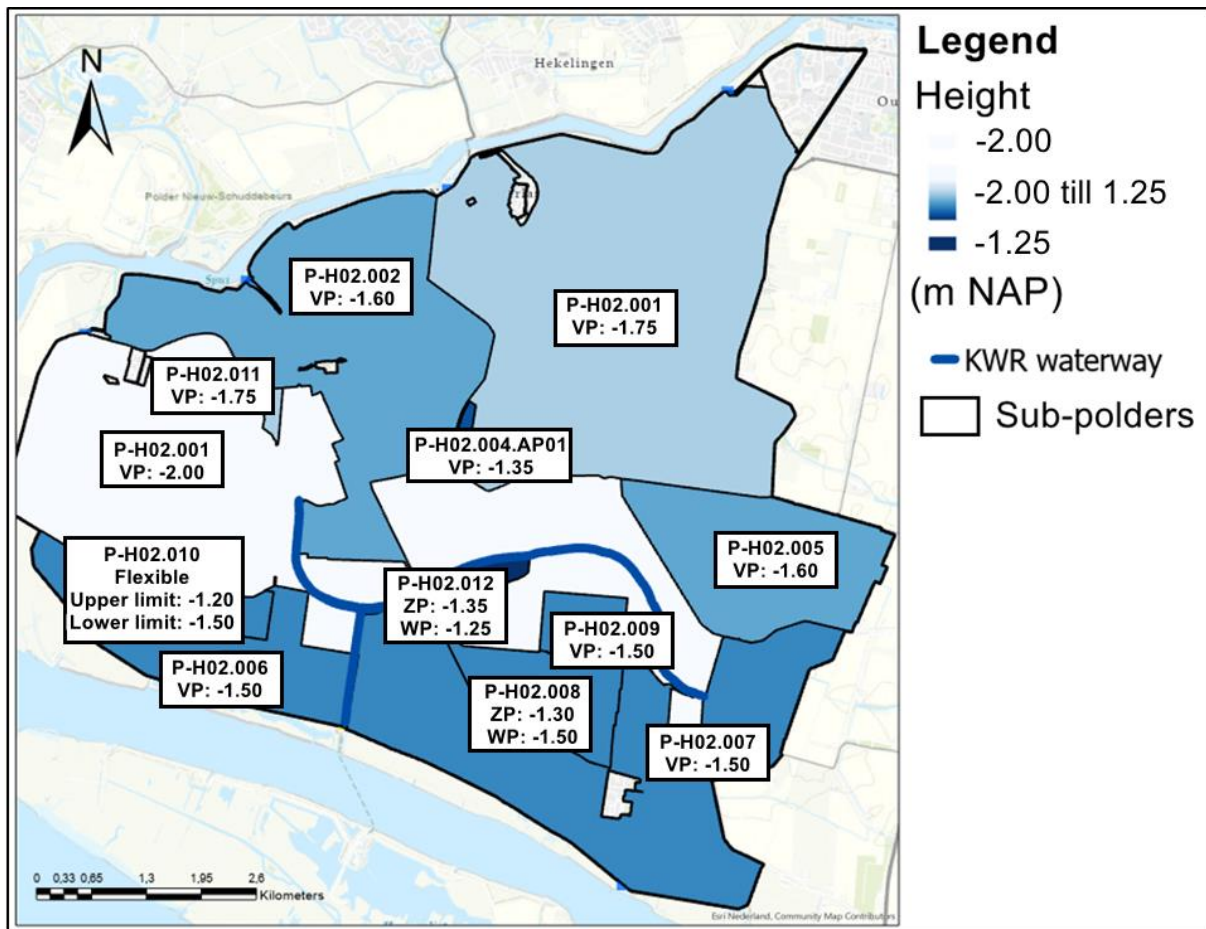


Figure 3.5: Differences fixed water levels in the Eendragt polder

#### 3.1.2.4. Clean and enough water in the Eendragt polder

As stated in the "Waterbeheerprogramma 2016-2021" WSHD aims to achieve a water system that has enough and clean water. To maintain a healthy water quality in the Eendragt polder a low nutrient load in combination with a low salinity is needed. Table 3.5 gives an overview of the allowed nitrogen, chlorophyll, and chloride concentrations in the Eendragt polder.

Table 3.5: Allowed concentration for sufficient water quality.

Allowed concentrations	
<b>Nitrogen concentration</b>	Between 2.8 – 5.6 mg/l is sufficient to reach a biological healthy water quality (Maandag & De Ruiter, 2018).
<b>Chlorophyll concentration</b>	Maximal 46 microgram ChlA/l (Maandag & De Ruiter, 2018)
<b>Chloride concentration</b>	WFD states that the chloride concentrations must be lower than 300 mg/l during summer half-year average (Maandag & De Ruiter, 2018).

80-85% of the phosphorus present in the waterways originates from agriculture, 0-5% of the phosphorus originates from seepage, and 10-15% originates from inlet water, during summer this can increase to 40% (Maandag & De Ruiter, 2018). Chloride can enter the polder due to groundwater seepage at the inlets. Table 3.6 shows the advised maximal chloride concentrations at the inlets.

Table 3.6 Allowed concentrations at inlets (HydroLogic, 2020)

Chloride concentration	Recommendation	Guideline chloride concentration (mg/l)
Inlet Brakelsveer	Recommended for TA in combination with EC-meter	250
Inlet Den Hitsert	-	250
Inlet Goudswaard	-	400
Inlet Nieuw-Beijerland	EC-meter and TA are present, but must be connected	250
Inlet Piershil	Recommended for TA in combination with EC-meter	300
Pumping station Eendragt	-	250

In the future fresh water supply will deteriorate due to human interventions and natural pressures, at the same time, the fresh water demand will increase in the Eendragt polder (HydroLogic, 2020). It is most beneficial to open inlets during low tide, at which chloride concentrations are the lowest. To maintain a sufficient water quality an all-year-round flushing in the whole Eendragt polder, and a maximal residence time of 5 days in the KRW-waterway is recommended, Table 3.7 shows the flushing requirements. The requirement of a maximum residence time of 5 days is currently not met, as the average is currently 20 days (Maandag & De Ruiter, 2018). A more comprehensive analysis regarding the water quality goals and the current water quality can be found in Appendix 5.

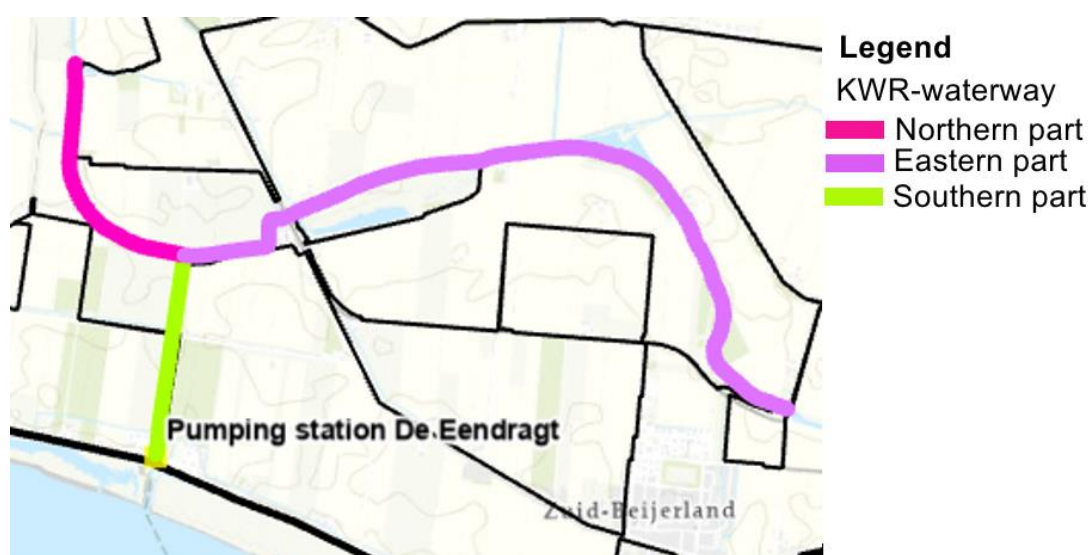


Figure 3.6: KRW-waterway. Pink northern part, purple eastern part, and green southern part.

Table 3.7: Water quantity requirements.

5 days residence time KRW-waterway	
During summer, the residence time may maximal be 5 days at the KRW-waterway, this will reduce algae growth, will lead to sufficient water quality (Maandag & De Ruiter, 2018). At a residence time of 3 days algae growth will completely disappear (Kuipers & De Ruiter, 2021). For a 5-day residence time a 10 m <sup>3</sup> /min is needed in the northern part and 30 m <sup>3</sup> /min in the eastern part in the KRW-waterway (Kuipers & De Ruiter, 2021).	
Requirements to achieve 5 days residence time (Kuipers & De Ruiter, 2021)	
Pumping capacity pumping station De Eendragt	40 m <sup>3</sup> /min
Standard water supply	0.4 l/s/ha corresponds with 125 m <sup>3</sup> /min
Summer flushing	0.2 l/s/ha corresponds with 63 m <sup>3</sup> /min
Summer irrigation and evaporation	0.2 l/s/ha corresponds with 63 m <sup>3</sup> /min



### 3.1.3. Current management strategies in the Eendragt polder

The management of the polder can be done through upstream and downstream control. During downstream control, the settings of the weir, inlet, or pumping station are determined by the water level downstream concerning the flow direction, see Figure 3.7. The opposite applies during upstream control, see Figure 3.8. The water level in the polder may not become higher than the critical ground level. Figure 3.9 shows the maximum available control space at an arbitrary weir ( $H_{max} - H_1 = \text{Available space}$ ). The current management strategy is explained during regular circumstances, prolonged drought, and an intense rainfall event.

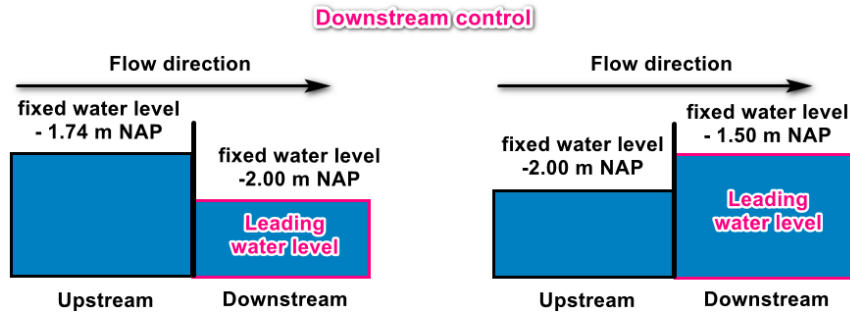


Figure 3.7: Downstream control.

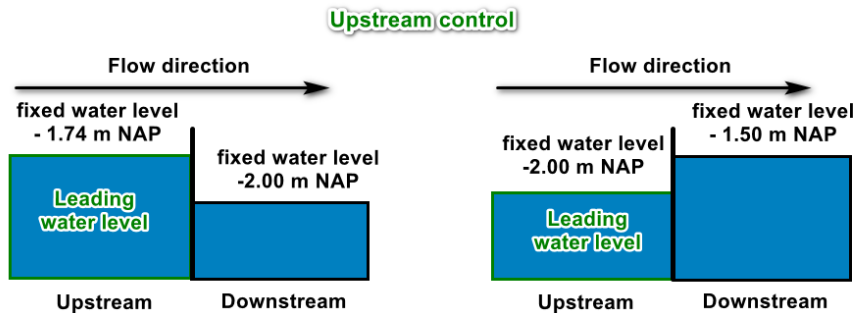


Figure 3.8: Upstream control.

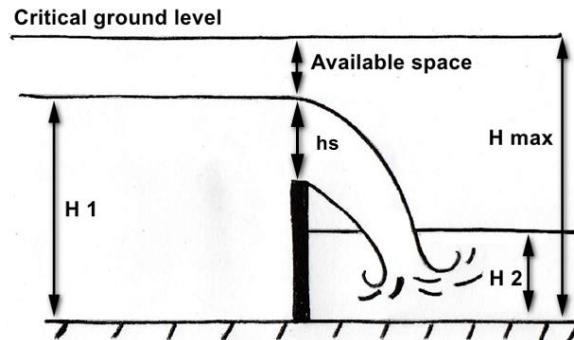


Figure 3.9: The water level may not be higher than the critical ground level.  $H_1$  is the water height upstream and  $H_2$  is the water height downstream. The maximum available increase of  $H_1$  is equal to  $H_{max} - H_1$ . ( $h_s$  corresponds to the overflow height at the weir).

#### 3.1.3.1. Regular circumstances

During regular circumstances, the water level stays within the maximal allowed fluctuation margins with respect to the water target level, see Figure 3.10. During regular circumstances, no intense rainfall events, prolonged droughts, or exceptional events occur. A water level drop, resulting from an inlet stop or a lack of rainfall, stays within the allocated margins, usually  $\pm 0.10$  meters.



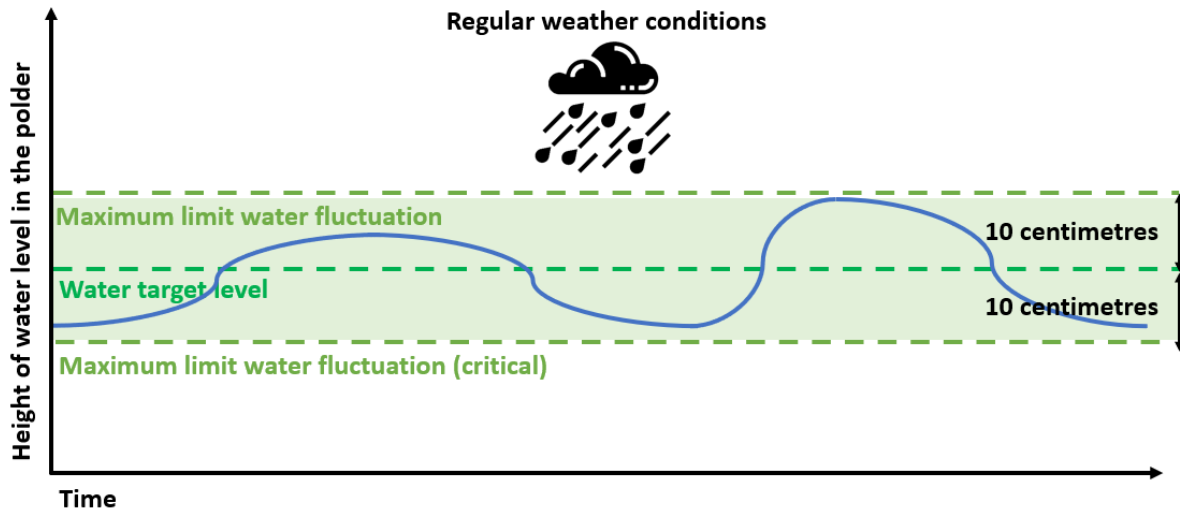


Figure 3.10: The water level in the Eendragt polder during regular circumstances. The x-axis represents the time. The y-axis represents the height of the water level. The water level stays within the margins of the corresponding "peilbesluit". The water level may fluctuate  $\pm 10$  centimetres, corresponding to the green area.

During regional circumstances, the water level manager adjusts as little as possible (Frijters, personal communication, 12 March 2021). The inlet of water is dependent on the chloride concentrations (as mentioned in Table 3.6) and the height of the water level in the river Spui and Haringvliet. The weir settings are determined by upstream control, this applies only if the downstream water level is not too high (for example 10 centimetres above downstream water level), if this however is the case, downstream control applies, the weir is raised upwards, see Figure 3.11 (Frijters, personal communication, 25 March 2021). Dependent on the increase in water level, the crest level height of the weir can be adjusted by applying "rough" or "slight" control (in Dutch fijnregeling and grofregeling). The adjustment of the crest level height is dependent on the deviation from the water target level multiplied by the adjustment factor. Figure 3.12 shows an example for weir Sluisjesdijk. Pumping station De Eendragt makes use of an upstream control scheme.

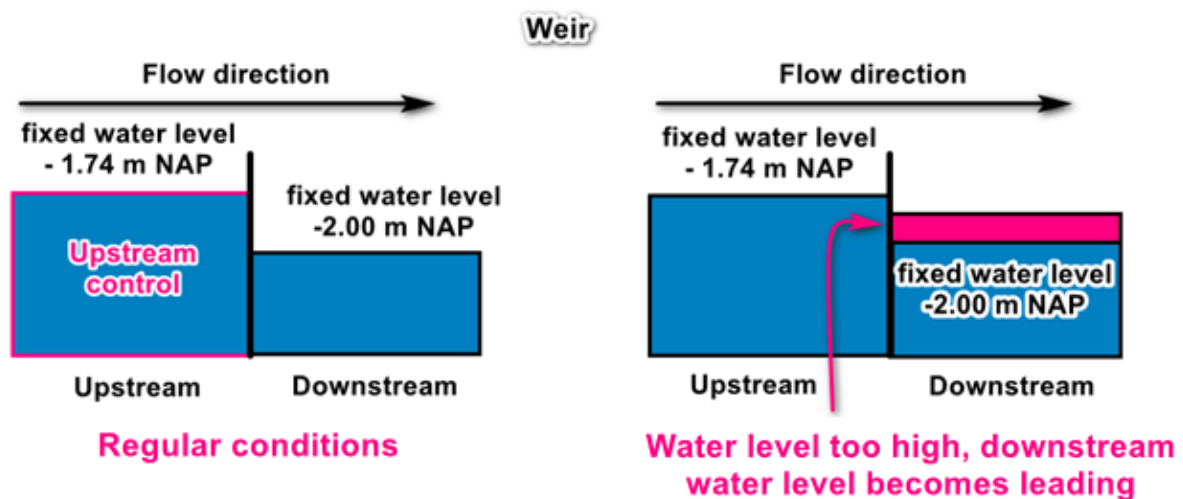


Figure 3.11: Left image; Upstream control applies under regular conditions. Right image; if the water level downstream has become too high, it switches to downstream control.

**Example: weir 10962ST (Sluisjesdijk)**

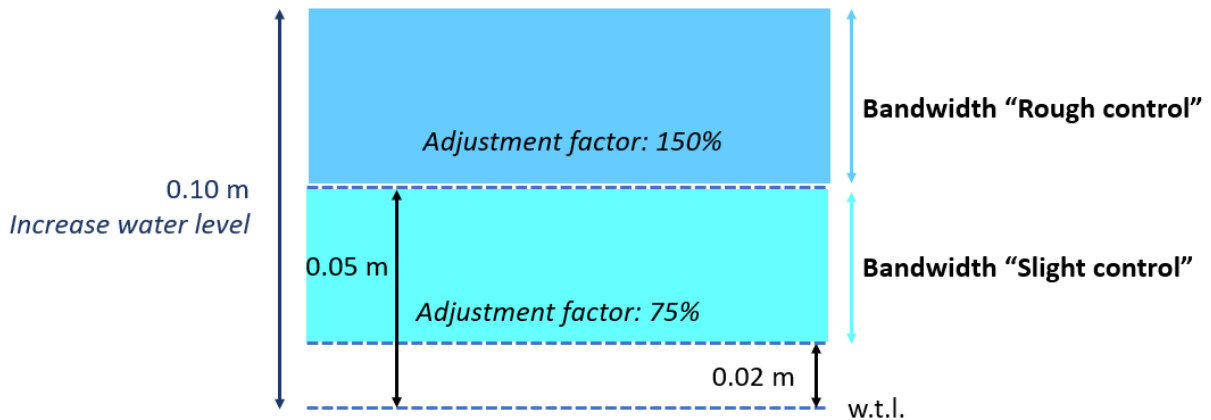


Figure 3.12: The adjustment of the crest level height is dependent on the deviation from the water target level multiplied by the adjustment factor. In this example the water level is 0.10 m higher than the water target level, as a result the weir gets 0.15 m lower (Adjustment crest level height =  $0.10 \text{ m} * 150\% = - 0.15 \text{ m}$ )

**3.1.3.2. Prolonged drought**

During a meteorological drought it can be decided to raise the water level till or above the maximum allowed increase in water fluctuation, see Figure 3.13. Especially during summer high temperatures cause an increase in evaporation, during this period the irrigational demand increases. Higher water levels help to facilitate this demand. Additionally, a negative water balance can occur due to a lack of rainfall combined with high evaporation rates and an inlet stop, resulting in too low water levels in the river Spui and Haringvliet and/or too high chloride concentrations. The negative balance causes the surface and ground water levels to drop. A critical situation occurs if the surface water level drop exceeds the water level fluctuation margins. This could lead to soil moisture drought, and subsequently a reduction in plant growth (Reidsma & Veraart, 2021). A prolonged drought occurs if the surface water levels drops even further, causing a social-economic drought. Table 3.8 shows the current management strategy during a drought.

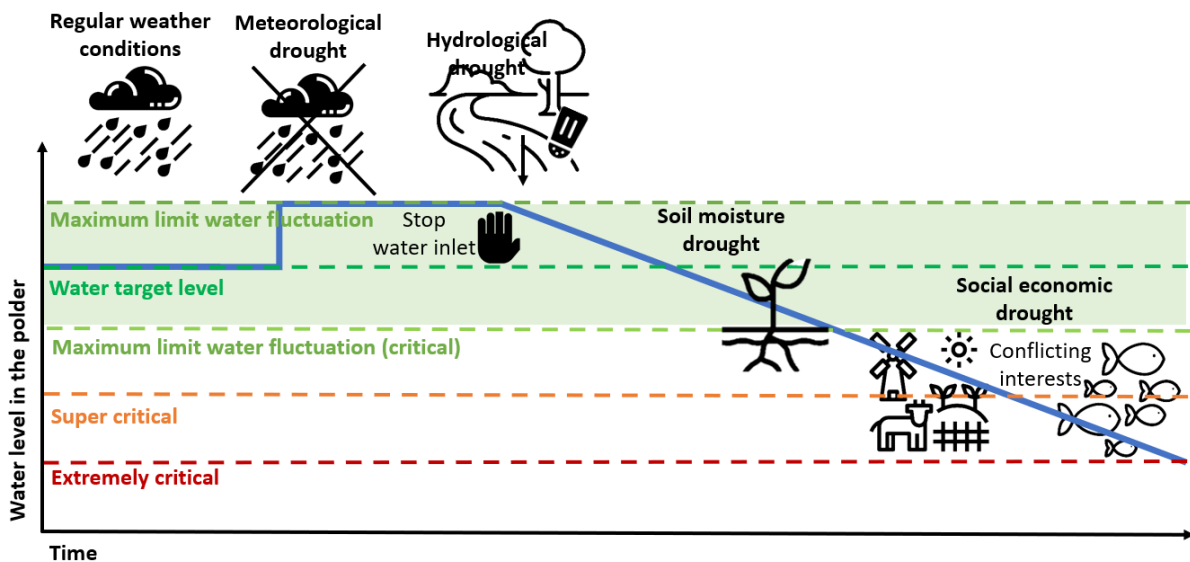


Figure 3.13: Water level in the Eendragt polder during a drought. The x-axis represents time, the y-axis represents height of the water level.

Table 3.8: Current management strategy during a drought.

Drought occasion	Management
Meteorological drought	The water level is raised till the maximum allowed water fluctuation. This is done through upstream control. This situation still falls under regular circumstances. There is still a focus on sufficient flushing through the sub-polders. The inlets are open, and the pump is still used.
Hydrological drought, leading to too high chloride concentrations and/or too high water levels in the river	Inlets are closed if chloride concentrations rise. The water levels in the sub-polder start to drop. The most vulnerable sub-polders are filled more in comparison to less vulnerable sub-polders. There is still a focus on flushing through the sub-polders. Pumping station De Eendragt is turned on less frequent.
Water level drops below the maximum drop in water level fluctuation. A soil moisture drought occurs. The situation becomes "super" or "extremely" critical if the water level drops even further.	As a result, the pump starts to pump at a higher water level. Additionally extra pumps could be utilized to supply extra water into the polder system.

### 3.1.3.3. Intense rainfall event

An intense rainfall event can be interpreted in multiple ways. Short but intense rainfall events form the biggest challenge in the Eendragt polder, in this thesis an intense rainfall event is defined as the following: "The rainfall intensity exceeds the drainage capacity of 17 mm/day" (see Table 3.4). From this point on it is no longer possible to speak of regular circumstances. An intense rainfall event is regarded as critical, if the water level becomes higher than the critical ground level resulting in inundation. This situation is strongly dependent on the initial state of the water system. A heavy rainfall event of 30 mm a day, after a long period of prolonged drought, is beneficial for the water system; during a wet period, the same amount could cause problems (Frijters, personal communication, 25 March 2021).

The current management strategy is to close the inlets and lower the water level nearby the pumping station De Eendragt. The water level manager gets a signal to turn on the second diesel pump if the water level does not drop enough in a certain time. This is usually at a water level rise of more than 15 centimetres (Frijters, personal communication, 25 March 2021). After the renovation, the diesel pump will most likely be replaced by an electrical pump with a constant flow rate (see Appendix 2). The weirs are managed by upstream control. Water levels nearby the weirs are monitored, large fluctuations in water levels could occur due to strong gusts of wind (Frijters, personal communication, 25 March 2021). The regional water managers indicate that it is difficult to decide to pre-pump in advance of an extensive rainfall event, the weather forecasts are not considered to be reliable enough (Frijters, personal communication, 12 March 2021). During a wet period, the regional water managers however indicated that the water level is lowered by circa 5 till 10 centimetres to create more storage. This is however strongly dependable on the rainfall characteristics and the period of the year (Frijters, personal communication, 12 March 2021). Another option mentioned is to retain the water in higher areas, this prevents that water flows directly to lower-lying areas (Frijters, personal communication, 12 March 2021).

### 3.2. Question 2: Best practices Smart water management

This sub-chapter elaborates the following sub-question: "What are the **best practices** in the application of "Smart" water management tools such as DSS and regional control systems?". To answer this question, 7 interviews have been conducted, see Table 3.9. Three interviews are conducted with organisations that have an advisory role in the water sector. Additionally, interviews have been held with multiple water boards. An overview will be given of the most important outcomes, a division is made between meteorological data, parameters, groundwater levels, data locations, limit and signal values, and important insights. A more comprehensive analysis can be found in Appendix 6.

Table 3.9 Personal communication interviews extern organizations.

Interviews	Organization	Date	In text referred with no.	Appendix nr.
Fritz	Water board	08-04-2021	1	7
Van Heeringen	Research institute & consultancy firm water sector	24-03-2021	2	8
Krol	Consultancy firm water sector	26-03-2021	3	9
Loos	Consultancy firm water sector	24-03-2021	4	10
Van Norel	Water board	16-03-2021	5	11
Den Ouden	Water board	02-04-2021	6	12
Raat	Water board	17-03-2021	7	13

#### 3.2.1. Meteorological data

Rainfall predictions can be very uncertain but are crucial for a DSS to predict the surface water levels. The uncertainty is dependent on multiple factors. Firstly, the local characteristics and the current state of the water system determine whether a rainfall event is critical (Interviews **nos. 2 & 6**). Secondly, the uncertainty is dependent on the type of rainfall, summer rainfall is more unpredictable in comparison to winter rainfall. (Interviews **nos. 1 & 7**). The uncertainty can be diminished by postponing the decision, until the last moment when it is effective to intervene (Interviews **nos. 6 & 1**). Furthermore, it is recommended to use high frequent calculations using most frequent data (Interview **no. 3**). Lastly, it is advised to use a meteorological service, which can be called for advice during uncertain situations (Interview **no. 7**).

Generally, Harmonie (Interviews **nos. 2 & 4 & 7**) and ESP (Interviews **nos. 2 & 3 & 4 & 5 & 7**) are mostly used in the Netherlands. The ESP, which stands for "Ensemble Streamflow Prediction", makes use of the weather model ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast). Every 12-hours, 50 different precipitation scenarios for the coming 10 days are given, the differences in the scenarios are based on disturbances on initial conditions. The outcomes are visualised in an uncertainty plume, with a maximum, minimum, and average precipitation scenario, which corresponds with a 90, 50 and 10 percentiles. The spread becomes larger into the future.

Harmonie is a product from KNMI, by using a deterministic approach it gives a pixel-based prediction (2.5 \* 2.5 km) (Weerplaza, 2021). Every 6 hours it provides a forecast for the coming 48 hours (Interview **no. 2**). Due to the large process time, the most recent weather forecast is at least 4.5 hours and maximum 10.5 hours behind schedule (Interview **no. 2**). Harlem can be used as a backup for Harmonie.

Another option is to combine radar with rainfall gauges (Interview **no. 4**). This provides an improvement of only using rainfall gauges in the area, which gives information of a specific location. This data could be gathered by making use of DTN (Data Transmission Network). HydroNet provides the precipitation measurements by using rainfall gauges. DTN combines rain gauges with radar images. During summer, KNMI will provide a new product called NowCasting (Interview **no. 2**). Nowcasting makes use of machine learning techniques and image processing, it gives a new weather prediction every 5 minutes for the coming 5 hours.

### 3.2.2. Parameters

A wide variety of parameters could be used in a DSS, for example: discharge, water levels, wind, tidal movement, fish migration, turbidity, energy use, green energy, pendle behaviour pumping station, followed by oxygen, chlorophyll, and chloride concentrations. A SCADA will give real-time information regarding water levels nearby assets. It is currently not possible to use the monitoring locations for active control of the polder system. The parameters used are dependent on the goal, this requires inside information regarding the management issues, it may not be too complicated, a step-by-step approach is needed (Interviews **nos. 1 & 2 & 4**). Historically DSS only focuses on water quantity parameters such as water levels and discharge (Interview **no.6**). Predicting water quality is very complex, due to the variety of processes involved. Therefore, a good water quality model is needed. Using model predictive or feedforward control is complicated, thus, it is better to apply feedback control (Interview **no. 1**). The buffer of a water system becomes higher if the water level can fluctuate more (Interview **no. 6**). This makes it more beneficial to consider other sustainability parameters such as fish migration, energy use and green energy which are largely interconnected to tidal movement.

Remote sensing could be used to detect water plants, by using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), the pendle behaviour in the DSS could become more efficient (Interviews **nos. 3 & 7**). Another application is to look at the moisture content to detect illegal irrigation activities (Interview **no. 2**). The success of remote sensing techniques is highly dependent on frequent data input and pixel size.

### 3.2.3. Groundwater levels

The use of groundwater levels could make the DSS more accurate (Interviews **nos. 1 & 4 & 6 & 7**). The Eendragt polder is largely unpaved, consisting of clay ground, and is located next to the rivers Spui and Haringvliet which experience fluctuations, as a result, fluctuations in the groundwater levels may occur, this affects the storage capacity of the ground. Knowledge of the available storage capacity helps estimating the initial condition, which is needed in the precipitation discharge model (Interview **no. 1**). This provides more accurate infiltration and runoff volumes. A product called OWASIS uses remote sensing images, soil maps, land use and real-time groundwater levels to estimate the current and predicted condition of the soil, groundwater, evaporation, and water availability (Interview **no.4** & Van Slooten, 2020). Another method that could be applied to predict groundwater levels is machine learning (Interview **no.5**).

### 3.2.4. Data locations

More data points lead to more accurate results in the DSS (Interviews **nos. 1 & 2**). An extra measuring point makes the DSS system less vulnerable by providing an extra backup (Interview **no. 1**). Data locations however require maintenance and investment costs. Due to historical reasons not all measurement locations are stationed at the most logical location (Interview **no. 4**), currently this is no problem anymore due to sufficient internet connections, and the use of batteries and solar panels (Interviews **nos. 4, 6, 7**). To determine which locations are critical it must be investigated how the area reacts (Interview **no. 4**). Large fluctuations can occur if the polder is stretched out, this can be due to wind or blocking objects.

### 3.2.5. Limit & signal values

The DSS offers the opportunity to look further than the conventional water management practices, which looks at the start and stop level of the assets in the polder (Interview **no. 3**). The DSS offers the possibility to look at indirect values by making predictions (Interview **no. 2**). By looking at the level of urgency, it can be prevented that too drastic measures are taken (Interview **no. 5**). The DSS reflects reality, therefore area knowledge is crucial (Interviews **nos. 4 & 7**). It is important to keep it simple and first determine the main goals, which are determined by the current steering goals in the polder (Interview **no. 1**). Conflicting interests can be categorized in a displacement sequence, which can be later used to determine the limit and signal values (Interview **no.1**).

### *3.2.6. Important lessons implementation DSS*

Unexpected circumstances can deteriorate the outcome of the DSS, violating public support. It must be realized that the DSS is a supportive system (Interviews **nos. 3 & 6 & 7**), it is no replacement of a regional water manager or hydrologists (Interview **no. 3**). The regional water manager must recognise the management strategy (Interview **no. 1**). To gain mutual trust everyone must be included in the process, it is part of a learning process, improvements can be made interactively (Interview **no. 3**). The DSS can never be a 100% reflection of reality. To separate peripheral matters of the essentials, the DSS must have a clear aim (Interviews **nos. 1 & 2 & 3 & 6 & 7**). More detail requires a higher information need. The risk of oversimplification could be diminished by making use of machine learning (Interview **no. 6**). The quality of the model is dependent on the input, corrections depend on the level of detail of the model (Interview **no. 6**). The prognoses must be accurate, programs may not hamper, tests are needed beforehand, data gathering must go flawlessly (Interview **no. 5**). This will help to give transparent advice during critical situations with a high working load (Interview **no. 5**). Strange outcomes must be detected, this can be achieved with tools that can anticipate during critical situations, a signal must be given, or an entry field must be available to process new information (Interviews **nos. 6 & 5**). During critical situations, people are needed into the field to monitor the area. It must always be possible to go back to full manual control, backups must be made (Interviews **nos. 2 & 5**). Lastly, to make the DSS more accurate data assimilation, sensor calibration, model validation, and data analysis could be applied (Interview **no. 6**). New applications could be tested in a test environment (Interview **no. 7**).

### 3.3. Question 3 Scenarios

This paragraph elaborates the following sub-question; “How can the changing meteorological conditions and water management goals be integrated based on three **scenarios**; regular, prolonged drought and intense rainfall?”. For each scenario it has been analysed which aspects must be considered.

#### 3.3.1. Goals regular circumstances

During regular circumstances, the regional water managers indicated that they try to adjust as little as possible (Frijters, personal communication, 12 March 2021). To maintain a sufficient water quality the water quantity standards as stated in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** apply. A distinction can be made between winter and summer conditions. During winter, the nutrient load is highest, this is due to groundwater drainage and a lower water level (Kuipers, personal communication, March 11, 2021). During the summer less water is available for flushing, and in addition the polder is more vulnerable for algae growth due to the increased summer temperatures (Van Nguyen & Wood, 1979), (see Appendix 5, 1.3).

The Eendragt polder consists of an interconnected system of waterways in which the water level may fluctuate freely within 0.20 meters, providing the opportunity to incorporate sustainability goals. A distinction can be made between sustainability goals for main pumping station De Eendragt, an even distribution of water, and a sufficient water quality. A sufficient water quality can be obtained with low chloride and nutrient concentrations. To achieve this, a constant flushing in the polder is needed. Currently, high groundwater chloride concentrations till 6.000 mg/l are mainly present at the south- and west side of the polder (Stoutjesdijk, 2015). In sub-polder P-H02.002 and P-H02.006 it is suspected that a sufficient water quality is hindered due to high chloride concentrations (Frijters, personal communication, 25 March 2021). The highest phosphorus concentrations are found in sub-polders P-H02.001 (mainly behind inlet Goudswaard) and H02.007 (Maandag & De Ruiter, 2018). An overview of management goals during regular circumstances is given in Figure 3.14, a more detailed explanation is given in Appendix 14. To determine the preferred management strategy, the management goals must be prioritized at WSHD.

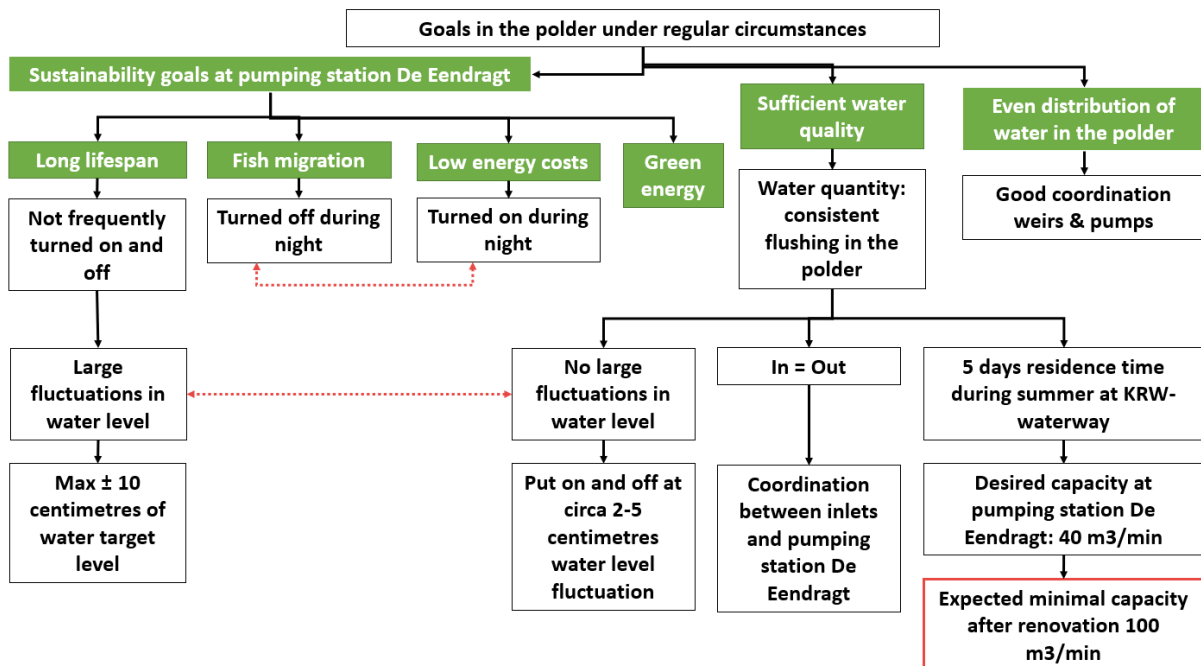


Figure 3.14: Goals in the Eendragt polder during regular circumstances. A distinction is made between a sufficient water quality, an even distribution of water and specific sustainability goals for pumping station De Eendragt. The dashed red line implicates contrasting management options.



### 3.3.2. Goals during a prolonged drought

A hydrological drought could cause a drop in water level in the surrounding rivers, enabling saltwater intrusion from the North Sea (De Vries, 2014), Appendix 5 1.1.1), resulting in too high chloride concentrations upstream at the inlets. An inlet stop could cause flushing problems and a drop in water level in the polder system. As a result a social-economic drought could occur accompanied by conflicting interests between ecology, agriculture, fish migration, and urban infrastructure. This raises the dilemma typical for droughts in polder systems: "should inlets be opened or closed?". To answer this question first some other questions should be answered by WSHD beforehand; "Is it more important to have high oxygen concentrations, or having low chloride concentrations" and "Till which chloride concentration is it still preferable to open the inlets to flush the polder system" (Kuipers, personal communication, March 11, 2021). Currently, these management decisions depend on individual perspectives and interpretation of the main goals of WSHD, for transparent decision making multiple interests need to be prioritized beforehand. Figures 3.15 and 3.16. show the effect of closing or opening the inlets.

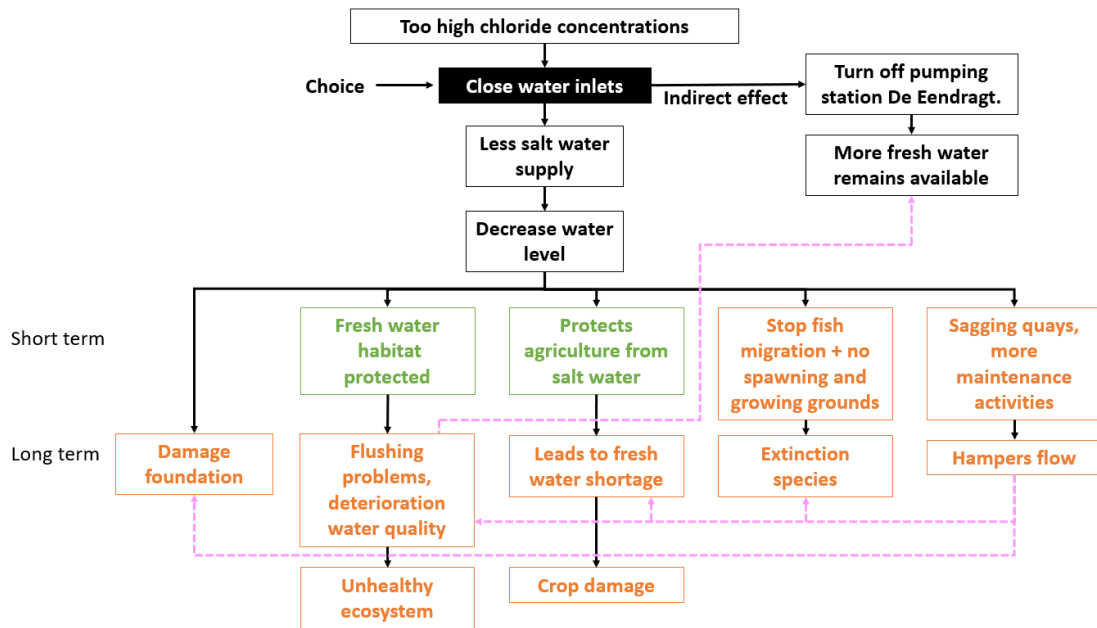


Figure 3.15: Effect of closing the inlets. The green boxes indicate a positive effect, and the orange boxes indicate a negative effect. A distinction is made between long- and short-term effects. The pink dashed lines illustrate the negative side effect of a hampering water flow and flushing problems.

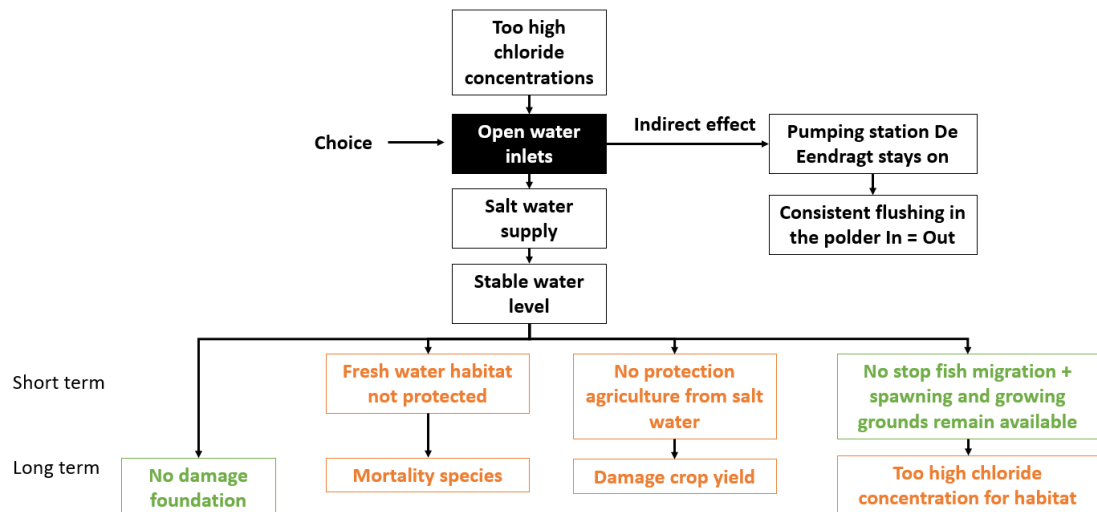


Figure 3.16: Effect of opening the water inlets. The green boxes indicate a positive effect, and the orange boxes indicate a negative effect. A distinction is made between long- and short-term effects.



Water levels start to drop if the inlets are closed. The impact differs for each land-use type present in the Eendragt polder (see Figure 3.17). Figure 3.18 illustrates the impact of a drop in water level for each land-use type.

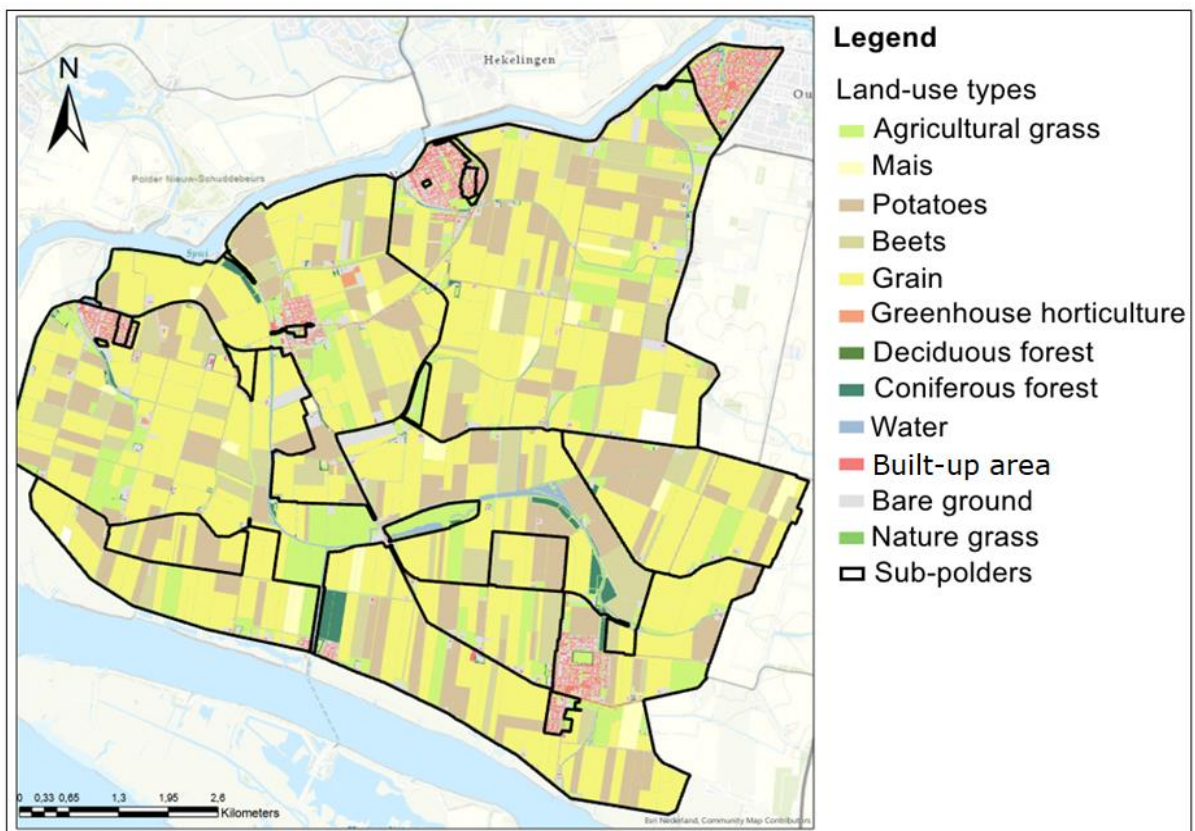


Figure 3.17: Land-use types in the Eendragt polder.

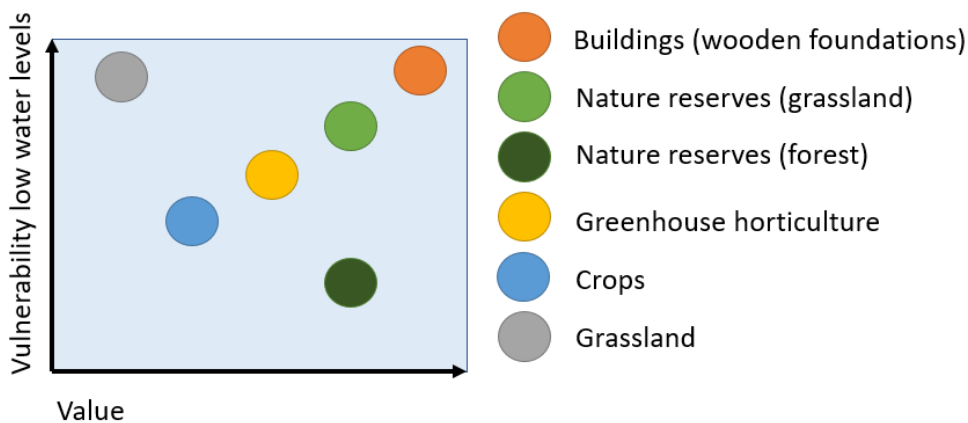


Figure 3.18: Impact of a drop in water level for each land-use type. The x-axis shows the economic value or the value to biodiversity. The y-axis shows the vulnerability of low water levels.

Buildings with wooden foundations have the highest economical value and are vulnerable to land subsidence. The following vegetation types in the Eendragt polder have a fresh water demand: greenhouse horticulture, grass, crops, and deciduous and coniferous forest. The vulnerability of vegetation against a prolonged drought depends on the reference evaporation and the root depth. The Makkink reference evaporation gives information regarding the fresh water demand. Vegetation that has a large root depth can drain water at larger water depths in comparison to smaller root depths, making it less vulnerable to a water level decrease. Figure 3.19 shows the average reference evaporation for grass and various crop types present in the polder from April till September. An overview of the root depths is given in Table 3.10. Temperature and soil type are critical aspects to

assess the vulnerability against a prolonged drought. In this analysis, these aspects are constant factors in the Eendragt polder, and therefore not included in the risk assessment.

Nature reserves consisting of forest or grassland provide a high value for biodiversity. A distinction is made between grassland and forests. Grassland is more vulnerable in comparison to forests due to the smaller root depth. Deciduous forest and coniferous forest have average reference evaporation of 1.2. (Roelsma, Kselik, & De Vos, 2008). Especially during hot summer days, deciduous trees have a high demand. A research project investigating the water use of elms in Amsterdam measured a maximum value of 170 l/day at the beginning of June (Slinger & Smits, 2019). Nature reserves are mostly located at low laying areas, which receive a natural water flow. This makes them less vulnerable in comparison to grassland outside nature areas that lie higher. Grassland outside nature reserves has the lowest economical value. Greenhouse horticulture has high investment costs and has a higher water demand, in comparison to crops that are in the open air. In the Netherlands greenhouse horticulture has an average water use of 10.000 m<sup>3</sup>/ha, this is much higher in comparison to the cultivation of crops such as potatoes, beets, grain, and corn which use circa 3.000 m<sup>3</sup>/ha (Huinink, et al., 1998).

The heterogeneity of the landscape in combination with the seasonal variability of each crop makes it unfeasible to assess the impact for each sub-polder separately. This makes it undesirable to develop a management strategy based on the vulnerability of given land-use types.

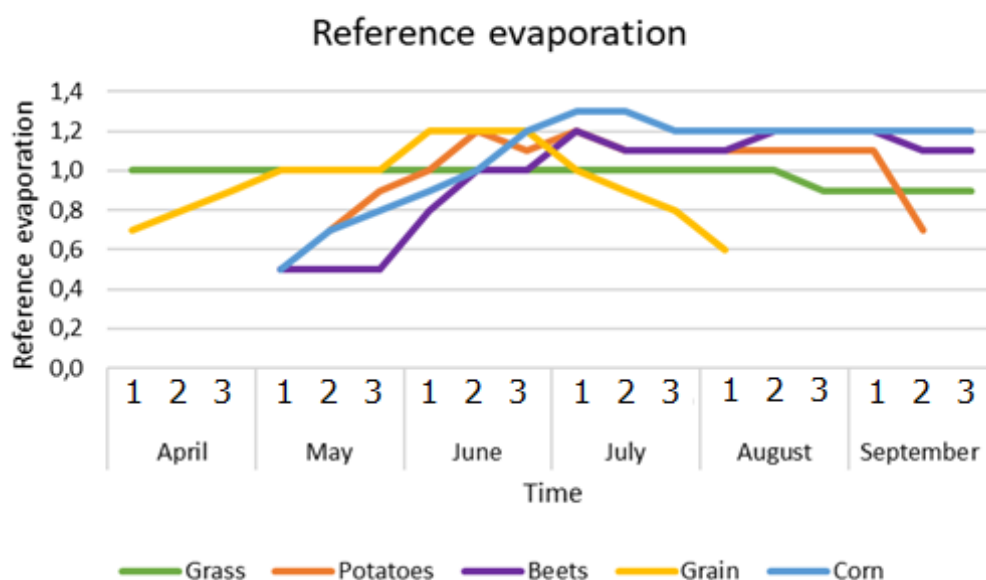


Figure 3.19: Average reference evaporation (Feddes, 1987, cited in Droogers, 2009)

Table 3.10: Root depths vegetation types

Vegetation type	Root depth		Source
<b>Grass</b>	0.4 m		(Nitrogen B.V., 2021)
<b>Potatoes</b>	Common conditions	Favourable conditions	(Haberle & Svoboda, 2015)
	0.4 m till 0.5 m	0.5 m till 0.8 m	
<b>Sugar Beets</b>	Common conditions	Favourable conditions	(Haberle & Svoboda, 2015)
	0.9 m till 1.3 m	1.30 m till 1.8 m	
<b>Grain (winter cereals)</b>	Common	Favourable conditions	(Haberle & Svoboda, 2015)
	0.8 m till 1.0 m	1 m till 1.4 m	
<b>Deciduous trees</b>	Average 3.32 m	Range	(Foxx, Tierney, & Williams, 1984)
<b>Coniferous forest</b>	Average 3.36 m	Range 0.1 m till 61 m	(Foxx, Tierney, & Williams, 1984)

### 3.3.3. Goals intense rainfall

The vulnerability of each sub-polder is determined by the risk of inundation. The risk equals the chance of inundation multiplied by the effect. Table 3.11 shows for each sub-polder, the maximum allowed flood probabilities for a given land-use type (see Figure 3.3), and the chance of inundation. At WSHD the chance of inundation is examined by performing SOBEK simulations. This resulted in the chance of inundation per recurrence interval of a given water level rise (T=10, T=25, T=50, and T=100), see Figure 3.20. In Appendix 15 a more comprehensive analysis is given. WSHD has made this analysis to assess which locations in the Eendragt polder do not meet the norms according to Waterverordening Zuid-Holland. By taking measures WSHD aims to meet these standards in 2027 (WSHD, 2021). Presumably these locations will in the future also be susceptible to intense rainfall events, the performed simulations provide valuable information.

*Table 3.11: The risk of inundation. For each sub-polder, the effect of inundation is expressed in the maximum allowed flood probabilities T=10, T=25, T=50 and T=100. The colours correspond with the colours used in Figure 3.3. In addition to this the chance of inundation is summarized for each sub-polder for the return periods T=10, T=25, T=50 and T=100.*

	Effect				Chance			
	Maximal allowed flood probability				Inundation			
Agricultural sub-polders	T=10	T=25	T=50	T=100	T=10	T=25	T=50	T=100
<b>Vulnerability level 1</b>								
<i>(nature reserves: inundation is not necessarily considered to be harmful, in some nature reserves it can even be beneficial (Kuipers, personal communication, March 11, 2021).</i>								
P-H02.012 (1B)					X	X	X	X
P-H02.004.AP01 (4A)					X	X	X	X
<b>Vulnerability Level 2</b>								
P-H02.011 (1A)					X	X	X	X
P-H02.009					X	X	X	X
P-H02.006					X	X	X	X
P-H02.005					X	X	X	X
P-H02.010 (6A)					X	X	X	X
<b>Vulnerability Level 3</b>								
P-H02.002					X	X	X	X
P-H02.008					X	X	X	X
<b>Vulnerability Level 4</b>								
P-H02.004					X	X	X	X
P-H02.007					X	X	X	X
P-H02.001					X	X	X	X

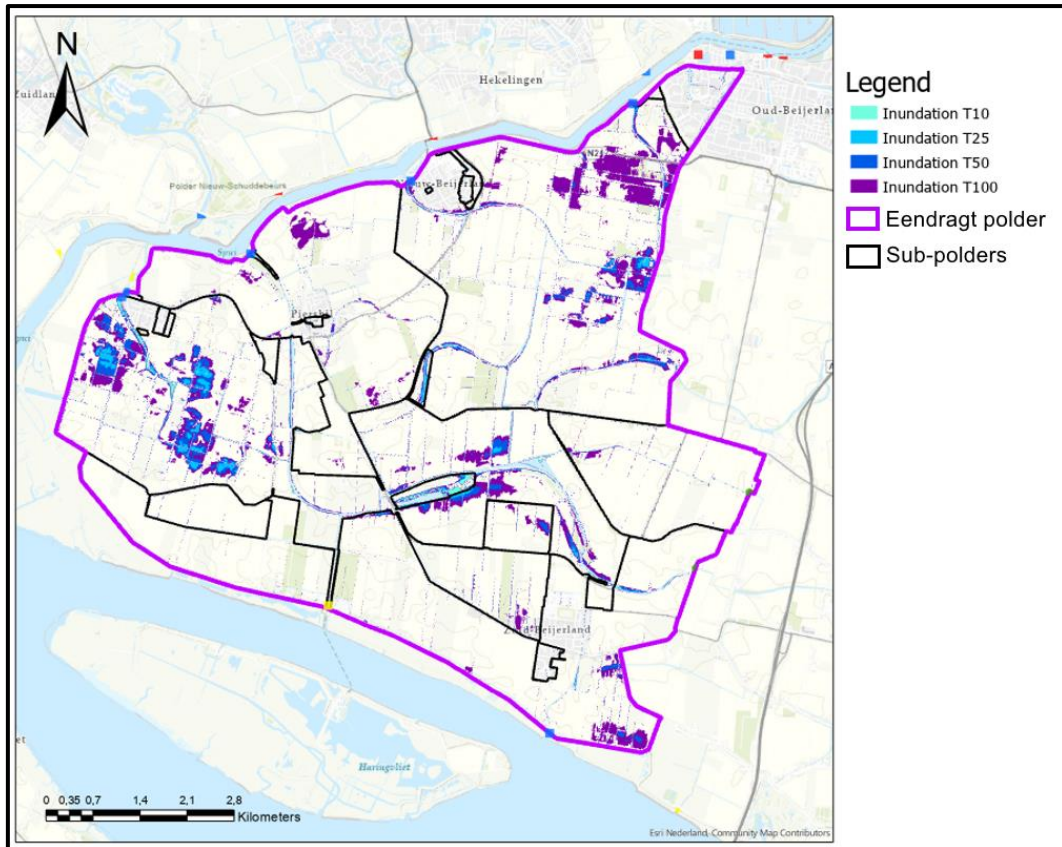


Figure 3.20: Chance of inundation per sub-polder per recurrence interval of a given water level rise ( $T=10$ ,  $T=25$ ,  $T=50$ , and  $T=100$ ).

Resulting of the analysis above sub-polder P-H02.001 has the same vulnerability level as sub-polders P-H02.004 and P-H02.007. In sub-polder P-H02.001 the space between critical groundwater level and water target level is small in comparison to the other sub-polders, for this reason, this polder has been taken separately, see Figure 3.21.

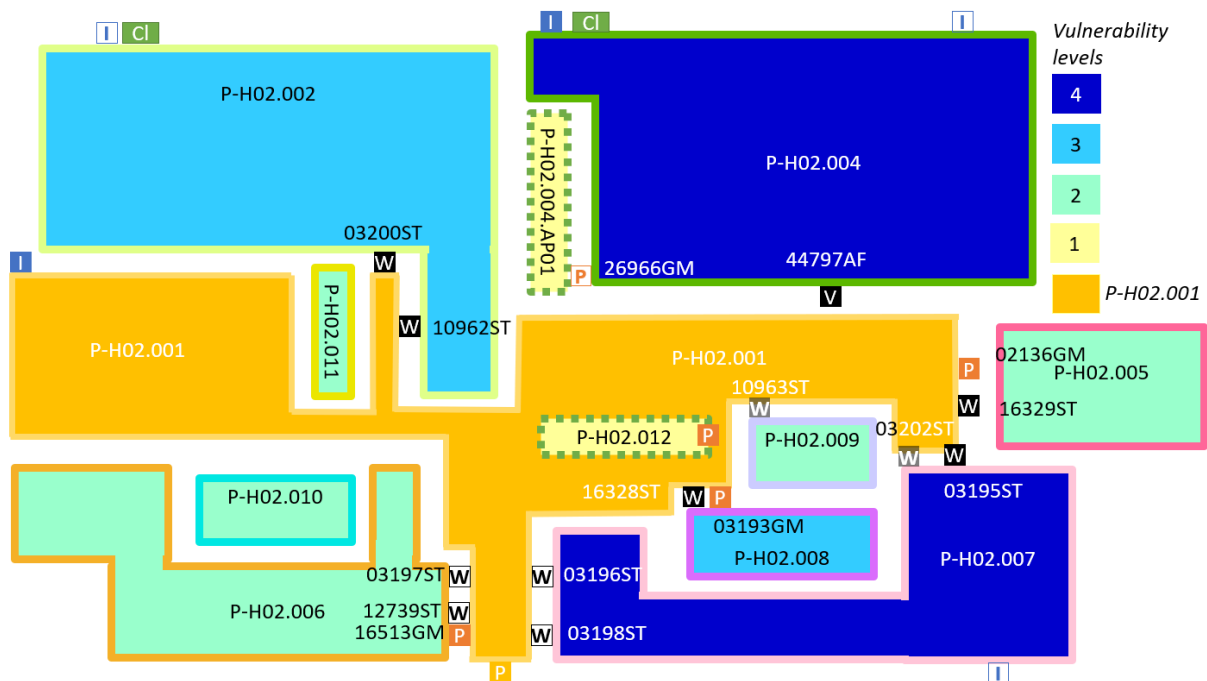


Figure 3.21: Division vulnerability levels in the Eendragt polder, sub-polder P-H02.001 is visualised separately.

### 3.3.4. Proposed management intense rainfall

During an intense rainfall event, the maximum storage capacity in the waterways will be utilized. At critical ground level, a 100% filling degree is reached, see Figure 3.22. The “Equal filling degree” strategy and “Risk informed management” strategy both incorporate this concept to mitigate the effect of inundation, Table 3.12.

At both strategies, the inlets are closed if the water level is  $\geq$  water target level + 0.10 m and/or the water level manager expects an intense rainfall event in the coming 6 to 8 hours. These strategies aim to achieve a more equal distribution of the surplus of water in the Eendragt polder. The Risk informed management strategy is more advanced. It aims to lower the chance of inundation in the more vulnerable sub-polders.

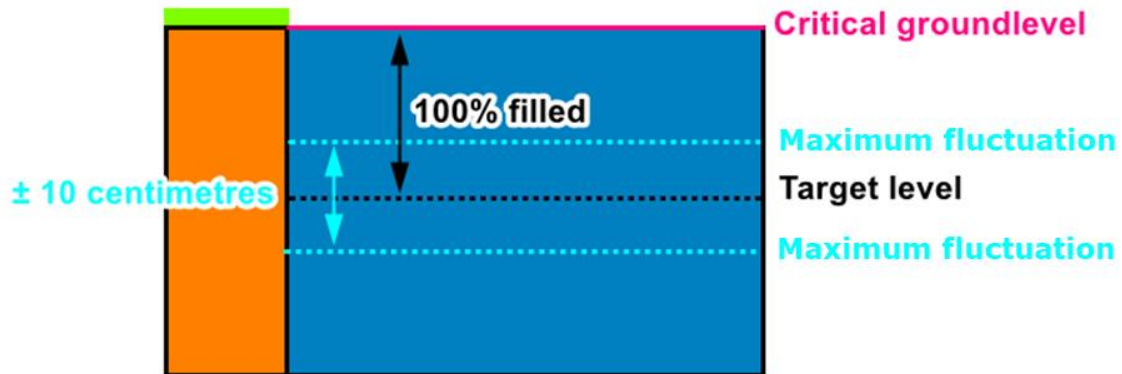


Figure 3.22: During an intense rainfall event the water level in the waterways could exceed the maximum increase of allowed fluctuation.

Table 3.12: Explanation Equal filling degree and Risk informed management strategy

#### Equal filling degree

By applying the Equal filling degree strategy, the water level upstream and downstream of the weir may increase with the same percentual increase relative to the critical ground level, Figure 3.23. There has not been chosen for the same increase in water level at both sides of the weir because this does not necessarily result in a more equal chance of inundation. The space between the critical ground level and the water target level differs per sub-polder. This strategy can therefore provide a more equal distribution of a water surplus in a polder.

#### Risk informed management

The Risk informed management strategy consists of multiple phases, see Figure 3.24. The phases are applied for all weirs separately. If the maximal bandwidth downstream or upstream of the weir is reached, the weir goes to the next phase, see Figure 3.25. During phase 0 regular management is applied. If the water level is  $\geq$  “high water level (0.20 m above water target level)” the Risk informed management strategies will be applied, consisting of phases 1 till 4. The change of inundation in the most vulnerable sub-polders will be lowered by retaining more water in less vulnerable sub-polders. As a result, the available space between the critical groundwater level and the water level becomes smaller in the most vulnerable sub-polders and becomes larger in the less vulnerable sub-polders, see Figure 3.26. Subsequently, the risk during an intense rainfall event will be divided more equally throughout the sub-polders.



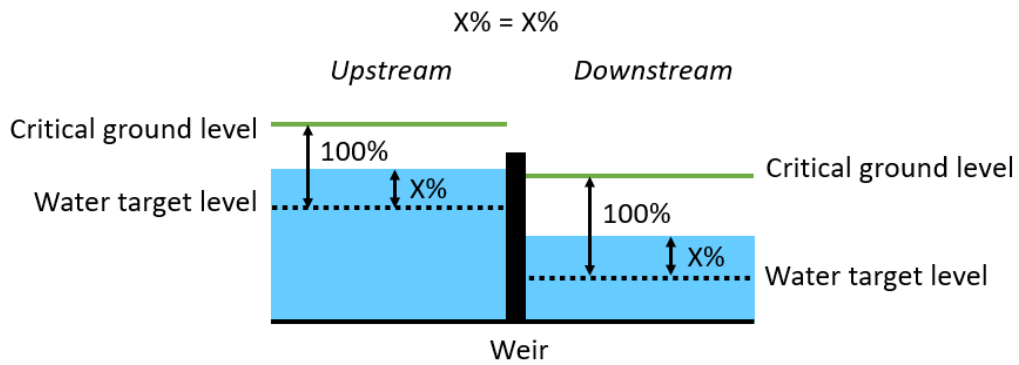


Figure 3.23: Equal filling degree strategy, at each side of the weir the water level may rise with the same percentual increase.

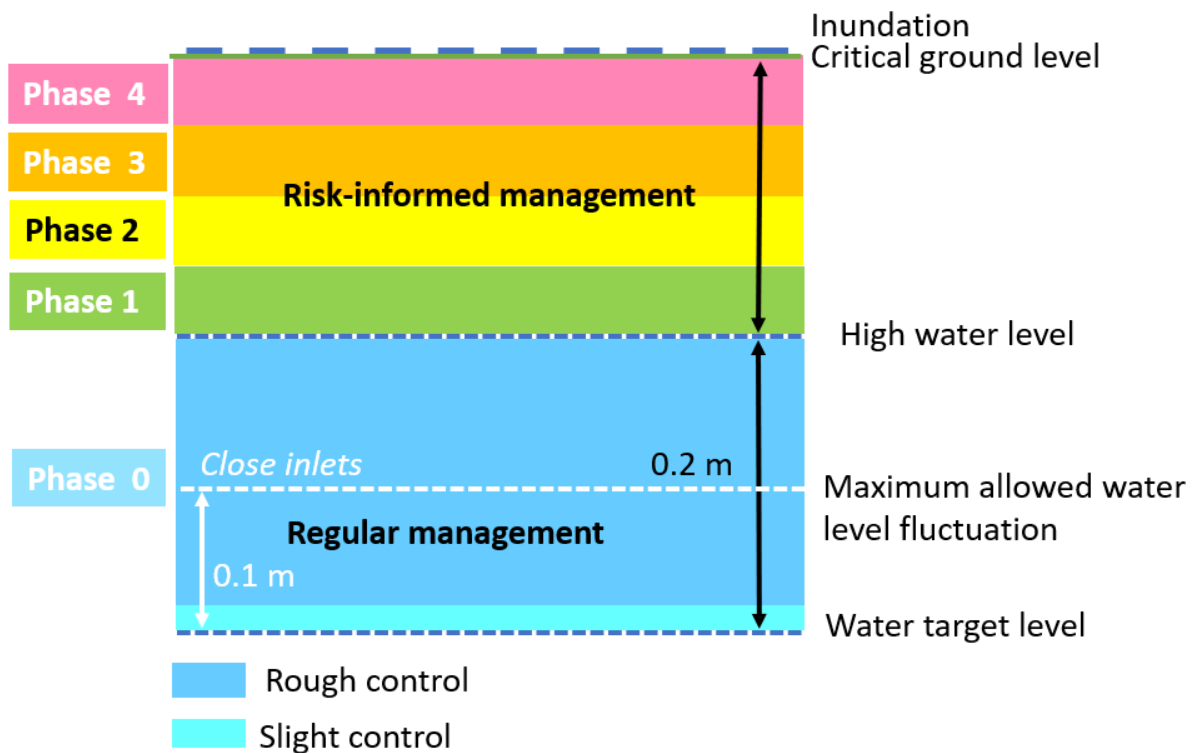


Figure 3.24: Risk informed management strategy

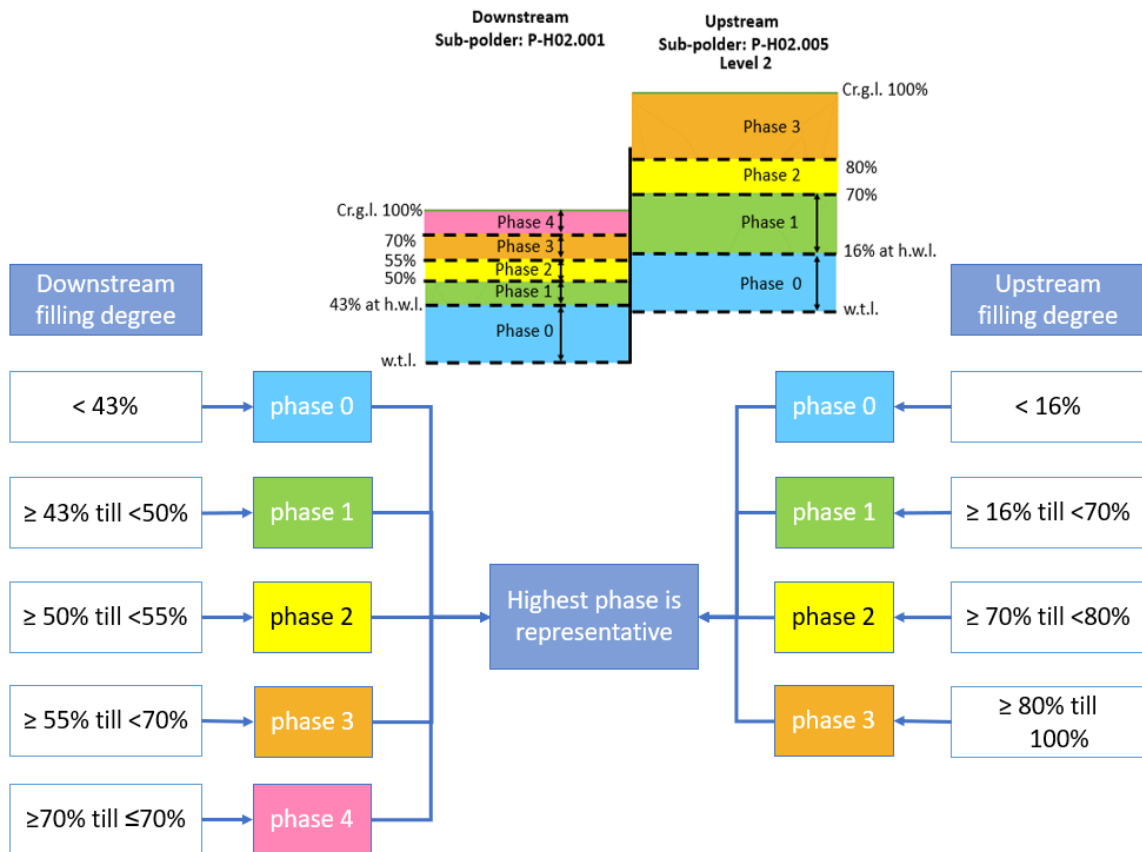
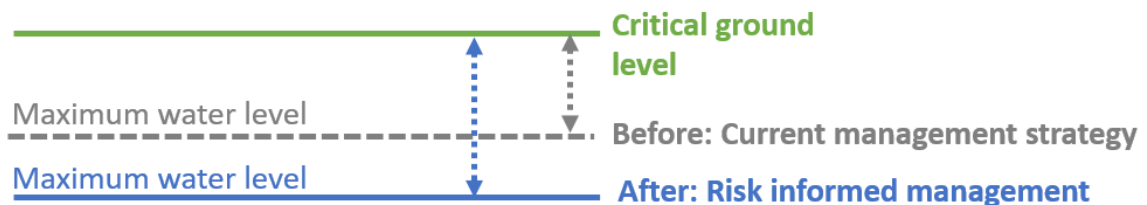


Figure 3.25: Risk informed filling degree example weir "16329ST" (till 100% see Table 3.20). If the maximal bandwidth downstream or upstream of the weir is reached, the settings of the weir go to the next phase. A more detailed explanation can be found in Appendix 18, Excel tab 3)

### "Most" vulnerable sub-polders



### "Least" vulnerable sub-polders

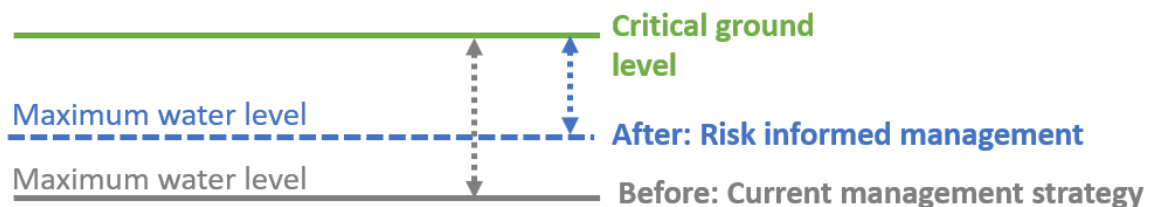


Figure 3.26: A more equal distribution of the risk during an intense rainfall event. "Before", represents the water levels after an intense rainfall event during the current management strategy. "After" represents the water levels after an intense rainfall event if Risk informed management strategy is applied.

### 3.4. Question 4: Effectiveness rainfall management strategy

This chapter evaluates the effectiveness of the Equal filling degree and Risk informed management strategy to minimize the negative impact of an intense rainfall event. Multiple SOBEK simulations have been conducted to analyse the variations in water level in the Eendragt polder. These SOBEK simulations are compared with the current management strategy. This will help to answer the following sub-question; “What is the **effectiveness** of the management strategies to mitigate the effect of an intense rainfall event and **what is needed** for an optimal result?”.

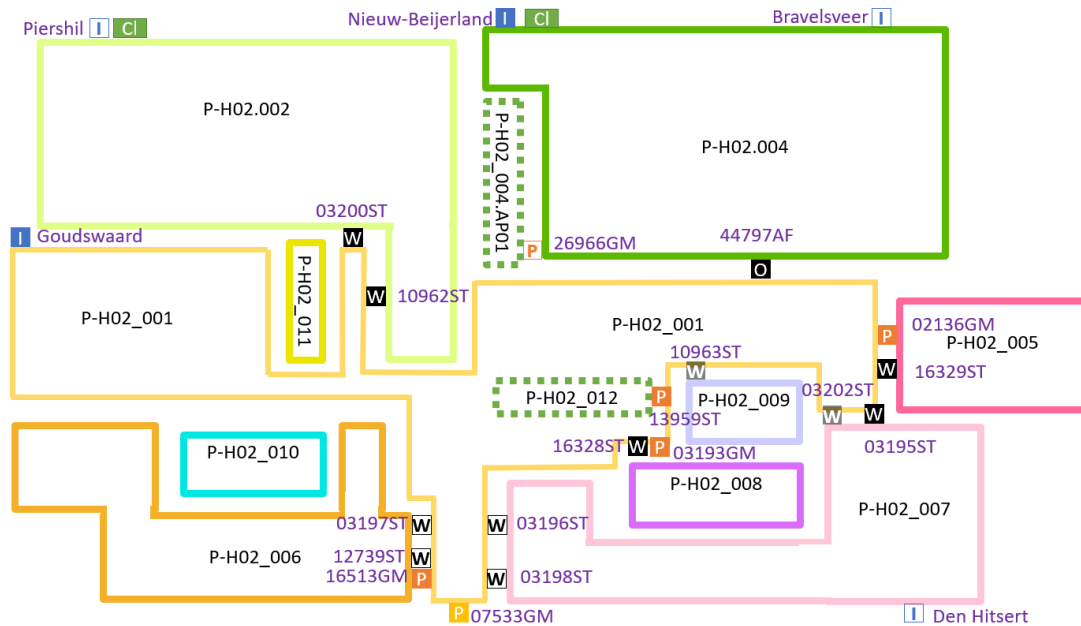
This chapter consists of the following paragraphs:

1. SOBEK model Eendragt polder
2. SOBEK simulations Equal filling degree
3. SOBEK simulations Risk informed management
4. Results Equal filling degree
5. Results Risk informed management

#### 3.4.1. SOBEK model Eendragt polder

##### 3.4.1.1. Model setup

Figure 3.27 shows a simplified schematization of sub-polders, inlets and weirs present in the SOBEK model. The SOBEK model consists of 1DFlow (Rural) and RR (Rainfall-Runoff) modules. 1DFlow simulates the main waterways in the Eendragt polder by including cross-sections, boundary conditions (used at inlets), weirs, pumps, culverts, and orifices. The RR module includes the surface area around the waterways, a distinction is made between unpaved and paved areas. Appendix 18 Excel tab 5 shows the settings of the assets.



- Legend**
- I Automated inlets
  - I Non-automated inlets
  - P Main pumping station De Eendragt
  - W Weirs adjustable automated
  - W Weirs adjustable non automated
  - W Weirs not adjustable
  - P Small pumps maintenance WSHD
  - P Small pumps maintenance outside WSHD
  - O Orifice automated (used to manage water level)
  - C Chloride meter at inlets

Figure 3.27: Simplified schematization Eendragt polder.

### 3.4.1.2. Validation

The basic reliability of the SOBEK model is validated by checking the water levels in the sub-polders with no rainfall and open inlets after 19 days. The inlet capacity at the inlets is determined by the drainage area multiplied by the water supply standard of 0.5 l/s/ha, see Table 3.13. The inlets together have a larger inlet capacity, during regular circumstances, it is however not necessary to supply more water. Table 3.14 shows the settings of pumping station De Eendragt. The settings are based on the expected capacity after renovation. The water target level at the main pumping station is -2.00 m NAP (sub-polder P-H02.001). The extra electrical on/off-pump has a lower switch on/off level in comparison to the electrical pump with a frequency converter. At the main pumping station, the water level is generally lower in comparison to locations upstream. By doing this the water level could still be reached.

The water levels in the SOBEK simulation largely correspond with the fixed water levels as stated in the "peilbesluit". In sub-polders P-H02.001, P-H02.002 and P-H02.007 the largest deviations of maximal 12 centimetres can be found. The validation can be further improved by comparing the SOBEK results with the statistics of an actual rainfall event. Some sub-polders only consist of small waterways, or the assets present have a negligible effect in mitigating an intense rainfall event. Therefore, the sub-polders will not be included in the results, see Table 3.15.

Table 3.13: Inlet capacities in SOBEK.

Name inlet	Drainage area [ha] (See Appendix 5 Table 0.2)	Needed capacity [m <sup>3</sup> /sec]
Brakelsveer	751	0.38
Nieuw-Beijerland	751	0.38
Piershil	867	0.43
Goudswaard	1967	0.98
Den Hitsert	897	0.44

Table 3.14: Settings main pumping station De Eendragt

	Electrical pump with frequency converter	Extra electrical on/off pump
Capacity	400 [m <sup>3</sup> /min]	350 [m <sup>3</sup> /min]
Switch on level	-1.95 [m NAP]	-2.05 [m NAP]
Switch off level	-2.05 [m NAP]	-2.10 [m NAP]

Table 3.15: Explanation why certain sub-polders are not analysed at the results.

Sub-polders	Reason why it is not analysed at the results
P-H02.011	Very small sub-polder. Weirs are not present in the SOBEK simulation.
P-H02.010	Consists of only small waterways. The SOBEK simulation only consists of main waterways.
P-H02.009	The water level is managed by a non-adjustable weir. The settings of this weir do not change in the SOBEK simulation.
P-H02.004. AP01	Consists of only small waterways. The SOBEK simulation only consists of main waterways. During an intense rainfall event, the surplus of water in sub-polder P-H02.004 could be pumped into this sub-polder. The capacity of the small pump and the available area is however too small to have a large impact to lower the water level in sub-polder P-H02.004 (can lead to maximum 0.6 mm/day decrease in water level, see appendix 20 Excel tab 4)
P-H02.012	Consists of only small waterways. The SOBEK simulation only consists of main waterways. During an intense rainfall event, the surplus of water in sub-polder P-H02.001 could be pumped into this sub-polder. The capacity of the small pump and the available area is however too small to have a large impact to lower the water level in sub-polder P-H02.001 can lead to maximum 0.5 mm/day decrease in water level, see Appendix 20 Excel tab 4)

### 3.4.1.3. Boundary conditions

The current management strategy serves as the reference situation. In the current management strategy, upstream control is applied. In SOBEK, this is simulated by applying PID control. The water level upstream of the weir is used as a constant setpoint to control the water level upstream. During the current management strategy, the inlets are closed. In SOBEK this is simulated by setting the boundary conditions on a constant flow rate of  $0 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Table 3.14 shows the setting of the main pumping station. Equal filling degree and the Risk informed management strategies simulations have the same settings for the boundary conditions and the main pumping station.

### 3.4.1.4. Initial state

Figure 3.28 shows the water level in the Eendragt polder after a 19 days 3 mm/day rainfall event. In SOBEK this has been used as a restart file to simulate the initial condition of the model. By doing this the ground gets saturated with moisture. Due to the 3 mm/day rainfall event as initial condition, a large part of the rainfall will not infiltrate into the soil but will flow to the main waterways. Thus the effect of an increase in water level can be simulated.

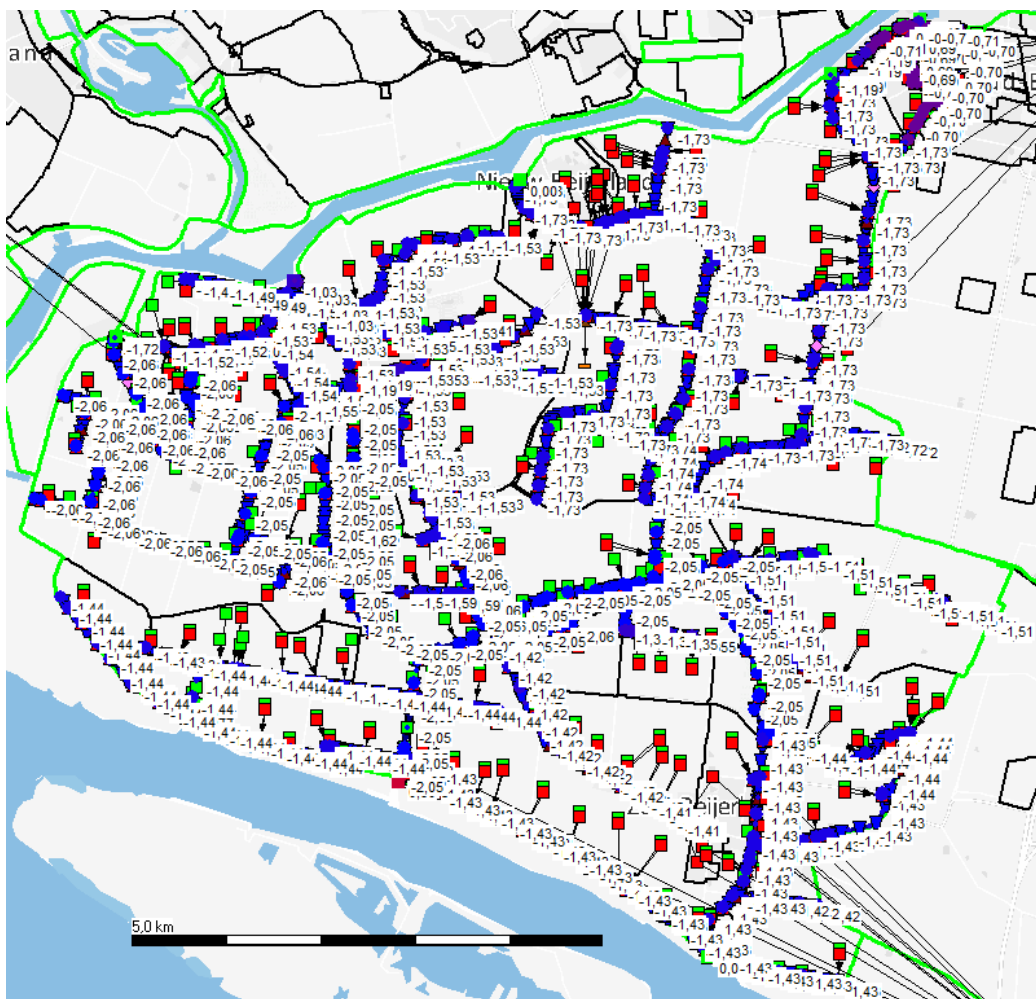


Figure 3.28: Water level after 3 mm rainfall event used as initial condition model.

### 3.4.1.5. Model forcing

To simulate the effects of the two proposed management strategies, a short/medium length rainfall event with a return period of 100 years is chosen. Beersma, Hakvoort, Jilderda, Overveen, & Versteeg (2019), derived the relation between rainfall return period and event length, representative for the average climate in the Netherlands in the year 2014, see Table 3.16. Initially, a 12-hours rainfall event with a return period of 100 years was deemed suitable to show the workings of the proposed strategies, leading to a rainfall event with an intensity of 82-100mm/12h (on average 7.6



mm/hour). The rainfall event, with a total duration of 19 days is modelled as illustrated in Table 3.17 and Figure 3.29.

Table 3.16: Gives an overview of the rainfall amount (rounded to the nearest mm) at different recurrence times (Beersma, Peerdeman, Hakvoort, Talsma, & Van Weeren, 2019). A 12-hour rainfall event with a return period of once per 100 years ( $T=100$ ) has been used to compare the effect of the different management strategies. This rainfall event has been shown in the blue box.

T	10	30	60	4	12	24	4	8
Year	Min	Min	Min	Hours	Hours	Hours	Days	Days
0.5	8	10	13	19	25	30	50	68
2	12	17	20	28	37	44	69	91
10	17-18	24-27	30-33	41-45	51-56	60-66	88-96	111-122
25	20-23	30-35	37-43	51-59	61-71	71-83	99-115	123-142
50	23-27	36-42	44-52	60-71	71-83	81-95	108-127	132-154
100	26-32	42-51	53-64	71-87	82-100	90-110	117-142	139-169
250	31-40	51-66	66-84	83-106	91-116	103-132	127-163	147-188
500	35-48	61-82	78-106	96-131	103-140	113-154	135-183	153-208
1000	40-57	71-102	93-133	113-161	117-167	124-178	142-203	157-226

Table 3.17: 19-days simulation period of  $T=100$  12 hours rainfall event

Period		mm/hour	Explanation
Start	End		
01-01 00:00	01-01 23:00	0	No rainfall
01-01 23:00	02-01 07:00	3	A small initial 'rain shower', to prevent unexpected empty waterways, leading to model instability
02-01 07:00	12-01 23:00	0	A period of 'rest'; 11 days without rainfall
12-01 23:00	13-01 11:00	7.6	The peak rainfall event; 12 hours of 7.6mm/hour
13-01 11:00	20-01 01:00	0	Seven dry days to resolve the peak event

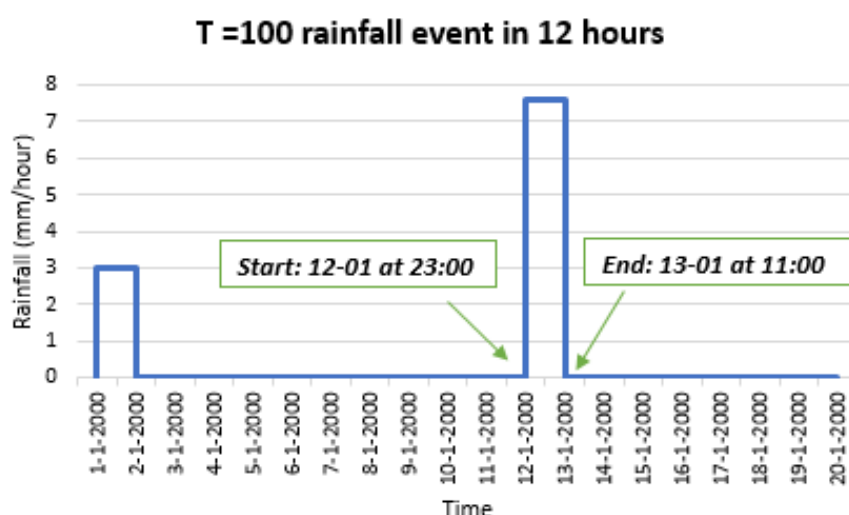


Figure 3.29: Rainfall simulation

### 3.4.2. SOBEK simulations Equal filling degree

The Eendragt polder consists of 5 adjustable automated weirs, 1 adjustable automated orifice and 4 adjustable non-automated weirs. To make optimal use of the Equal filling degree strategy (see par. 3.3.4.), all adjustable weirs present in the Eendragt polder ought to be automated and the crest

levels should all be able to be pulled up to a 100% filling degree. At a 100% filling degree, the water level may rise from the water target level (0%) until the critical ground level (100%). This requirement cannot always be met, see Figure 3.30. Table 3.18 shows which simulations have been conducted into SOBEK. A more detailed explanation of the SOBEK simulation can be found in Appendix 16.

Table 3.18: SOBEK simulations Equal filling degree

1	Current automated adjustable weirs & Use current limited crest level height
2	Current automated adjustable weirs & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree
3	Assume all adjustable weirs are automated & Use current limited crest level height
4	Assume all adjustable weirs are automated & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree

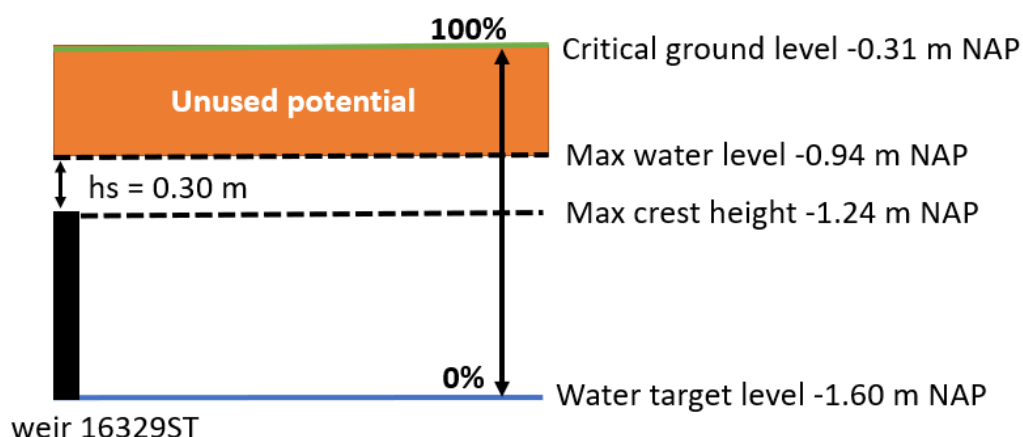


Figure 3.30: Weir 16329ST has a maximum crest height of -1.24 m NAP, resulting in a maximum manageable water level of -0.94 m NAP (-1.24 m NAP + 0.30 m ( $h_s$ )). This makes it impossible to manage the upstream water level till a 100% filling degree in sub-polder P-H02.005.

### 3.4.3. SOBEK simulations Risk informed management

Two SOBEK simulations have been conducted to evaluate the effectiveness of the Risk informed management strategy, see Table 3.19.

Table 3.19: SOBEK simulations Risk informed management

5	Current automated adjustable weirs & Use current limited crest level height
6	Assume all adjustable weirs are automated & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree

The fifth simulation shows the potential of the current automated adjustable weirs present in the Eendragt polder. As mentioned earlier, not all weirs are adjustable to accommodate a 100% filling degree. The sixth simulation shows the maximum potential of the weirs. This is done by also automating the non-automated weirs and making use of the maximum storage capacity in the waterways, by assuming all weirs are adjustable to accommodate a 100% filling degree.

Table 3.20 shows the simulated filling degrees for each phase and vulnerability level. In simulation 5 an "effective" filling degree is applied. A 100% effective filling degree is equal to the maximum crest level height + the corresponding overflow height ( $h_o$ ) of the weir ( $h_s$ , see Figure 3.9). A more detailed explanation of the SOBEK simulation can be found in Appendix 17.

Table 3.20: Risk informed management strategy consisting of phase 0 "Upstream regular management" and phases 1 to 4 "Risk-informed management". During "Risk-informed management" the least vulnerable sub-polders have a lower filling degree in comparison to the more

vulnerable sub-polders. The filling degree in the sub-polders increases when switched to the next phase. At the end of phase 4, all sub-polders are 100% filled.

Phase 0	Upstream regular management	End bandwidth: high water level (h.w.l) = water target level + 0.20 m		
<b>Risk-informed management</b>				
Phase 1		Bandwidth		Reached limit
		Filling degree at h.w.l. start point	Filling degree end point phase 1	
	Vulnerability level 2	17%	70%	NO
	Vulnerability level 3	21%	60%	NO
	Vulnerability level 4	22%	55%	NO
	Sub-polder P-H02.001	43%	50%	NO
Phase 2		Bandwidth		Reached limit
		Filling degree start phase 2	Filling degree end phase 2	
	Vulnerability level 2	70%	80%	NO
	Vulnerability level 3	60%	70%	NO
	Vulnerability level 4	55%	60%	NO
	Sub-polder P-H02.001	50%	55%	NO
Phase 3		Bandwidth		Reached limit
		Filling degree start phase 3	Filling degree end phase 3	
	Vulnerability level 2	80%	100%	Yes
	Vulnerability level 3	70%	90%	NO
	Vulnerability level 4	60%	80%	NO
	Sub-polder P-H02.001	55%	70%	NO
Phase 4		Filling degree start phase 4	Filling degree end phase 4	Reached limit
	Vulnerability level 2	100%	100%	Yes
	Vulnerability level 3	90%	100%	Yes
	Vulnerability level 4	80%	100%	Yes
		Sub-polder P-H02.001	70%	100%

#### 3.4.4. Measurement locations SOBEK simulations

Figure 3.31 shows which measurement locations have been used to analyse the effect of the SOBEK simulations. The Equal filling degree and Risk informed management simulations will be compared with the reference situation.



Measurement locations in sub-polders	
P-H02.001	left
	middle
	right
P-H02.002	meas. 1
	meas. 2
P-H02.004	meas. 1
	meas. 2
P-H02.005	meas. 1
	meas. 2
P-H02.006	meas. 1
	meas. 2
P-H02.007	middle
	left
	right
P-H02.008	meas. 1
	meas. 2

Figure 3.31: Measurement locations in sub-polders.

### 3.4.5. Results Equal filling degree

Table 3.21 shows the maximum reached water levels and exceedance of the water target levels for each sub-polder, due to the intense rainfall event (12-hours rainfall  $T=100$ ) for the reference situation (0) and the four equal filling degree strategies (1 to 4). Appendix 18 Excel tab 10, shows how these water levels are obtained. For each sub-polder, the water fluctuation has been analysed, see Table 3.22.

The Equal filling degree strategy aims to distribute the surplus of water evenly over the Eendragt polder. This aim corresponds with the results, at the simulations (1 to 4), the water level in sub-polder P-H02.001 decreased. This is caused by the sub-polders which are located upstream. At these sub-polders, the surplus of water is retained for a longer period, resulting in a local water level increase. This effect is most strongly visible in Equal filling degree strategy 4. In this strategy, all adjustable weirs are automated and can reach a 100% filling degree. The effect of automating all adjustable weirs is largest in sub-polders P-H02.006 (12739ST and 03197ST) and P-H02.007 (03198ST and 03196ST). In these sub-polders higher water levels are observed.

Table 3.23 shows for each measurement location the maximum occurring water level with respect to the critical ground level. In the reference situation, inundation occurs in sub-polders P-H02.001 and P-H02.002. The exceedance of the critical ground level in sub-polder P-H02.001 varies between 0.33 m [middle] and 0.39 m [right]. This is considerably lower in sub-polder P-H02.002, 0.03 at [meas. 1]. The other sub-polders experience no inundation, these sub-polders have potential storage capacity to retain the surplus of water. A more equal distribution of the surplus of water occurs in all four equal filling degree strategies. This effect is largest in strategy 4, in which all weirs are automated and can reach a 100% filling degree. As a result, no inundation occurs in sub-polder P-H02.001. In all other sub-polders except in sub-polder P-H02.002, the water level does not exceed the critical ground level. In these sub-polders, there is still extra storage capacity available unto maximum 0.32 m in sub-polder P-H02.006. The Equal filling degree strategy has a negative effect on sub-polder P-H02.002. The water level is 0.07 m above critical ground level at [meas. 1] in strategy 4. Hence, most favourable results can be obtained through investing in automated weirs, combined with crest level heights that can control the water level till critical ground level.



Table 3.21: Effect increase water level in sub-polders for the reference situation (0) and Equal filling degree strategies (1 till 4). For each measurement location the exceedance of the water target level (w.t.l) is shown. The green boxes indicate a relative low exceedance of the water target level and the red boxes indicate a relative high exceedance of the water target level. (Appendix 18, Excel tab 10 shows the simulation results)

3 mm initial state + T=100 12-hours intense rainfall event.				Reference situation		Equal filling degree							
				0		1		2		3		4	
				Current management strategy to mitigate the effect of intense rainfall events		Current automated adjustable weirs & Use current limited crest level height		Current automated adjustable weirs & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree		Assume all adjustable weirs are automated & Use current limited crest level height		Assume all adjustable weirs are automated & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree	
Water levels (m NAP)		Measurement locations in sub-polders		Highest water levels (m NAP)	Metres above w.t.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above w.t.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above w.t.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above w.t.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above w.t.l.
-2.00	VP	P-H02.001	left	-1.19	0.81	-1.41	0.59	-1.48	0.52	-1.47	0.53	-1.53	0.47
			middle	-1.2	0.80	-1.43	0.57	-1.54	0.46	-1.49	0.51	-1.62	0.38
			right	-1.14	0.86	-1.37	0.63	-1.49	0.51	-1.42	0.58	-1.55	0.45
-1.60	VP	P-H02.002	meas. 1	-0.61	0.99	-0.58	1.02	-0.57	1.03	-0.57	1.03	-0.57	1.03
			meas. 2	-0.96	0.64	-0.75	0.85	-0.64	0.96	-0.75	0.85	-0.67	0.93
-1.75	VP	P-H02.004	meas. 1	-1.00	0.75	-0.81	0.94	-0.83	0.92	-0.82	0.93	-0.86	0.89
			meas. 2	-1.13	0.62	-0.84	0.91	-0.85	0.90	-0.85	0.90	-0.89	0.86
-1.60	VP	P-H02.005	meas. 1	-0.7	0.90	-0.51	1.09	-0.45	1.15	-0.51	1.09	-0.45	1.15
			meas. 2	-0.92	0.68	-0.66	0.94	-0.47	1.13	-0.66	0.94	-0.51	1.09
-1.50	VP	P-H02.006	meas. 1	-0.75	0.75	-0.75	0.75	-0.75	0.75	-0.69	0.81	-0.64	0.86
			meas. 2	-0.88	0.62	-0.88	0.62	-0.88	0.62	-0.77	0.73	-0.65	0.85
-1.50	VP	P-H02.007	middle	-0.82	0.68	-0.78	0.72	-0.78	0.72	-0.76	0.74	-0.74	0.76
			left	-0.78	0.72	-0.77	0.73	-0.77	0.73	-0.70	0.80	-0.65	0.85
			right	-1.11	0.39	-0.87	0.63	-0.69	0.81	-0.87	0.63	-0.69	0.81
-1.50	WP	P-H02.008	meas. 1	-0.34	1.16	-0.33	1.17	-0.32	1.18	-0.33	1.17	-0.32	1.18
			meas. 2	-0.65	0.85	-0.56	0.94	-0.37	1.13	-0.56	0.94	-0.41	1.09

	Relatively low exceedance of the w.t.l.
	Relatively high exceeded of the w.t.l.

Table 3.22: Effect water level at measurement locations in each sub-polder. The increase or decrease in water level is compared with the reference situation.

P-H02.001.	In comparison to the reference situation, the water level becomes lower by applying Equal filling degree strategies. The water level becomes the lowest in Equal filling degree strategy 4. The largest decrease in water level can be found at measurement location [middle], which has a water level decrease of 0.42 m (0.80 m - 0.38 m).
P-H02.002	The water level at [meas.1] shows a slight increase (max 0.04 m) in water level in comparison to the reference situation by applying the Equal filling degree strategies. The water level at [meas. 2] shows a larger increase in water level. This effect is the largest at Equal filling degree 2 & 4 with both a 100% filling degree (+0.32 m & +0.29 m). In strategies 1 & 2 with limited crest levels, an increase of 0.21 m can be observed.
P-H02.004	At all Equal filling degree strategies, the water levels rise in comparison to the reference situation. At [meas. 1] this is maximum 0.19 m (strategy 1) and minimal 0.14 m (strategy 4). At [meas. 2.] this is maximum 0.29 m (strategy 1) and minimal 0.24 m (strategy 4).
P-H02.005	The largest increase in water level at [meas. 1] and [meas. 2] can be found at strategies 2 and 4 with both a 100% filling degree. This is maximum 0.25 m at [meas. 1] and maximum 0.45 m at [meas. 2].
P-H02.006	Both [meas. 1] and [meas. 2] strategies 1 and 2 do not affect the water level. This is logical as there are no automated adjustable weirs present in P-H02.006 only non-adjustable weirs 03197ST and 12739ST. An increase in water level however is seen in strategies 3 and 4 with both non and automated adjustable weirs. The effect is largest at a 100% filling degree in strategy 4 of maximum 0.11 m at [meas 1].
P-H02.007	Measurement location [middle] shows a slight increase in water level in all four Equal filling strategies, this effect is largest at strategy 4 (0.08 m). Measurement location [left] shows almost no water level increase in strategies 1 and 2 this can be explained due to the non-adjustable weir 03198ST. In strategies 3 and 4 there is a water level increase of 0.08 m and 0.13 m. At the [right] measurement location all strategies show an increase in water level. At strategies 2 and 3 with both max crest level, there is an increase of 0.24 m, and at strategies 1 and 4 with both a 100% filling degree is an increase of 0.42 m.
P-H02.008	At measurement location [meas. 1] the effect on the water level is almost negligible at all 4 management strategies. [Meas. 2] which lies further upstream an increase of 0.09 m can be observed at strategies 1 and 3. Strategy 2 resulted in the largest increase in water level of 0.28 m.

Table 3.23: Effect increase water level in sub-polders for the reference situation (0) and the Equal filling degree strategies (1 to 4). For each measurement location the exceedance of the critical ground level (cr.gr.l) is shown. The green colours indicate no exceedance of the critical ground level, the red boxes indicate an exceedance (Appendix 18, Excel tab 10 shows the simulation results)

3 mm initial state + T=100 12-hours intense rainfall event.			Reference situation		Equal filling degree							
			0		1		2		3		4	
			Current management strategy to mitigate the effect of intense rainfall events		Current automated adjustable weirs & Use current limited crest level height		Current automated adjustable weirs & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree		Assume all adjustable weirs are automated & Use current limited crest level height		Assume all adjustable weirs are automated & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree	
Cr.gr.l. (m NAP)	Measurement locations in sub-polders		Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.
-1.53	P-H02.001	left	-1.19	0.34	-1.41	0.12	-1.48	0.05	-1.47	0.06	-1.53	0.00
		middle	-1.2	0.33	-1.43	0.10	-1.54	-0.01	-1.49	0.04	-1.62	-0.09
		right	-1.14	0.39	-1.37	0.16	-1.49	0.04	-1.42	0.11	-1.55	-0.02
-0.64	P-H02.002	meas. 1	-0.61	0.03	-0.58	0.06	-0.57	0.07	-0.57	0.07	-0.57	0.07
		meas. 2	-0.96	-0.32	-0.75	-0.11	-0.64	0.00	-0.75	-0.11	-0.67	-0.03
-0.81	P-H02.004	meas. 1	-1.00	-0.19	-0.81	0.00	-0.83	-0.02	-0.82	-0.01	-0.86	-0.05
		meas. 2	-1.13	-0.32	-0.84	-0.03	-0.85	-0.04	-0.85	-0.04	-0.89	-0.08
-0.31	P-H02.005	meas. 1	-0.7	-0.39	-0.51	-0.20	-0.45	-0.14	-0.51	-0.20	-0.45	-0.14
		meas. 2	-0.92	-0.61	-0.66	-0.35	-0.47	-0.16	-0.66	-0.35	-0.51	-0.20
-0.33	P-H02.006	meas. 1	-0.75	-0.42	-0.75	-0.42	-0.75	-0.42	-0.69	-0.36	-0.64	-0.31
		meas. 2	-0.88	-0.55	-0.88	-0.55	-0.88	-0.55	-0.77	-0.44	-0.65	-0.32
-0.57	P-H02.007	middle	-0.82	-0.25	-0.78	-0.21	-0.78	-0.21	-0.76	-0.19	-0.74	-0.17
		left	-0.78	-0.21	-0.77	-0.20	-0.77	-0.20	-0.70	-0.13	-0.65	-0.08
		right	-1.11	-0.54	-0.87	-0.30	-0.69	-0.12	-0.87	-0.30	-0.69	-0.12
-0.31	P-H02.008	meas. 1	-0.34	-0.03	-0.33	-0.02	-0.32	-0.01	-0.33	-0.02	-0.32	-0.01
		meas. 2	-0.65	-0.34	-0.56	-0.25	-0.37	-0.06	-0.56	-0.25	-0.41	-0.10

	No exceedance of the cr.g.l.
	Exceedance of the cr.g.l.

#### 3.4.6. Results Risk informed management

Table 3.24 shows the water level fluctuations and the exceedance of the water target levels in each sub-polder due to the intense rainfall event (12-hours rainfall T=100) for the reference situation (0) and Risk informed management strategies (5 & 6). Appendix 18 Excel tab 10, shows how these water levels are obtained.

The result largely corresponds with the results obtained using the Equal filling degree strategies. This has been illustrated in Table 3.25. Table 3.25 shows the water level rise with respect to the critical ground levels for the Equal filling degree strategies 1 and 4 and the Risk informed management strategies 5 and 6. The Risk informed management strategy did not result in lower water levels, in fact the maximum water levels are almost identical to each other.

This could have multiple explanations. The rainfall event could be too intense. Consequently, most sub-polders could have reached a 100% filling degree at phase 4. Nonetheless, not all sub-polders have reached critical ground level. This could be due to a constant overflow height used to determine the crest level heights in SOBEK. Moreover, the weirs are spread out over a large area, this may have delayed the reaction time of the weirs.

As a result, there is little to no distinction between the distribution of water between both strategies. Further research is needed to investigate the potential of the Risk informed management strategy. The effect of the Risk informed management strategy is likely to become more evident if a rainfall event with a lower intensity would be simulated. This could lead to larger differences in occurring water levels in comparison to the Equal filling degree strategy. Moreover, the effect of the Risk informed management strategy would become more noticeable if the filling degrees of the vulnerability levels lie further apart from each other.

Table 3.24: Effect increase water level in sub-polders for the reference situation (0) and the Risk informed management strategies (5 and 6). For each measurement location the exceedance of the water target level (w.t.l) is shown. The green boxes indicate a relative low exceedance of the water target level and the red boxes indicate a relative high exceedance of the water target level. (Appendix 18, excel tab 10 shows the simulation results)

3 mm initial state + T=100 12-hours intense rainfall event.				Reference situation		Risk informed management			
				0		5		6	
				Current management strategy to mitigate the effect of intense rainfall events		Current automated adjustable weirs & Use current limited crest level height		Assume all adjustable weirs are automated & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree	
Water levels (m NAP)		Measurement locations in sub-polders		Highest water levels (m NAP)	Metres above w.t.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above w.t.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above w.t.l.
-2.00	VP	P-H02.001	left	-1.19	0.81	-1.41	0.59	-1.53	0.47
			middle	-1.2	0.80	-1.43	0.57	-1.65	0.35
			right	-1.14	0.86	-1.37	0.63	-1.56	0.44
-1.60	VP	P-H02.002	meas. 1	-0.61	0.99	-0.58	1.02	-0.57	1.03
			meas. 2	-0.96	0.64	-0.72	0.88	-0.65	0.95
-1.75	VP	P-H02.004	meas. 1	-1.00	0.75	-0.81	0.94	-0.86	0.89
			meas. 2	-1.13	0.62	-0.84	0.91	-0.89	0.86
-1.60	VP	P-H02.005	meas. 1	-0.7	0.90	-0.52	1.08	-0.46	1.14
			meas. 2	-0.92	0.68	-0.67	0.93	-0.48	1.12
-1.50	VP	P-H02.006	meas. 1	-0.75	0.75	-0.75	0.75	-0.64	0.86
			meas. 2	-0.88	0.62	-0.88	0.62	-0.63	0.87
-1.50	VP	P-H02.007	middle	-0.82	0.68	-0.78	0.72	-0.74	0.76
			left	-0.78	0.72	-0.77	0.73	-0.65	0.85
			right	-1.11	0.39	-0.86	0.64	-0.69	0.81
-1.50	WP	P-H02.008	meas. 1	-0.34	1.16	-0.34	1.16	-0.32	1.18
			meas. 2	-0.65	0.85	-0.58	0.92	-0.38	1.12

	Relatively low exceedance w.t.l.
	Relatively high exceeded w.t.l.



Table 3.25: Effect increase water level in sub-polders for the reference situation (0) Risk informed management strategies (5 and 6) and the Equal filling degree strategies 1 and 4. For each measurement location the exceedance of the critical ground level (cr.gr.l) is shown. The green boxes indicate no or a relatively small exceedance of the critical ground level and the red boxes indicate exceedance or a relative high exceedance of the critical ground level. (Appendix 18, excel tab 10 shows the simulation results)

3 mm initial state + T=100 12-hours intense rainfall event.			Reference situation		Current automated adjustable weirs & Use current limited crest level height				Assume all adjustable weirs are automated & Assume all adjustable weirs can accommodate a 100% filling degree			
			0		5		1		6		4	
			Current management strategy to mitigate the effect of intense rainfall events		Risk informed management		Equal filling degree		Risk informed management		Equal filling degree	
Cr.gr.l. (m NAP)	Measurement locations in sub-polders		Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.	Highest water levels (m NAP)	Metres above Cr.gr.l.
-1.53	P-H02.001	left	-1.19	0.34	-1.41	0.12	-1.41	0.12	-1.53	0.00	-1.53	0.00
		middle	-1.2	0.33	-1.43	0.10	-1.43	0.10	-1.65	-0.12	-1.62	-0.09
		right	-1.14	0.39	-1.37	0.16	-1.37	0.16	-1.56	-0.03	-1.55	-0.02
-0.64	P-H02.002	meas. 1	-0.61	0.03	-0.58	0.06	-0.58	0.06	-0.57	0.07	-0.57	0.07
		meas. 2	-0.96	-0.32	-0.72	-0.08	-0.75	-0.11	-0.65	-0.01	-0.67	-0.03
-0.81	P-H02.004	meas. 1	-1.00	-0.19	-0.81	0.00	-0.81	0.00	-0.86	-0.05	-0.86	-0.05
		meas. 2	-1.13	-0.32	-0.84	-0.03	-0.84	-0.03	-0.89	-0.08	-0.89	-0.08
-0.31	P-H02.005	meas. 1	-0.7	-0.39	-0.52	-0.21	-0.51	-0.20	-0.46	-0.15	-0.45	-0.14
		meas. 2	-0.92	-0.61	-0.67	-0.36	-0.66	-0.35	-0.48	-0.17	-0.51	-0.20
-0.33	P-H02.006	meas. 1	-0.75	-0.42	-0.75	-0.42	-0.75	-0.42	-0.64	-0.31	-0.64	-0.31
		meas. 2	-0.88	-0.55	-0.88	-0.55	-0.88	-0.55	-0.63	-0.30	-0.65	-0.32
-0.57	P-H02.007	middle	-0.82	-0.25	-0.78	-0.21	-0.78	-0.21	-0.74	-0.17	-0.74	-0.17
		left	-0.78	-0.21	-0.77	-0.20	-0.77	-0.20	-0.65	-0.08	-0.65	-0.08
		right	-1.11	-0.54	-0.86	-0.29	-0.87	-0.30	-0.69	-0.12	-0.69	-0.12
-0.31	P-H02.008	meas. 1	-0.34	-0.03	-0.34	-0.03	-0.33	-0.02	-0.32	-0.01	-0.32	-0.01
		meas. 2	-0.65	-0.34	-0.58	-0.27	-0.56	-0.25	-0.38	-0.07	-0.41	-0.10

	No or a relative small exceedance cr.gr.l.
	Exceedance or a relative high exceedance cr.gr.l.

### 3.5. Question 5: Algorithms intense rainfall event

This chapter evaluates the following sub-question; "How can the management strategies that mitigate the effect on an intense rainfall event be translated into corresponding **algorithms**?".

In SCADA multiple assets, which are in connection to a PLC, can be managed simultaneously. Water level measurement locations are located upstream and downstream next to the assets. For a RCS this offers the opportunity to manage the water level in a more effective manner. This paragraph aims to illustrate the potential of possible algorithms. These algorithms could be applied in the Eendragt polder during an intense rainfall event. The statements can be modified according to the wishes of WSHD.

Figure 3.32 illustrates how the algorithms are schematized. A statement can either be "TRUE" or FALSE". For some statements this is dependent on the statement(s) in the row above. If a statement is "FALSE" the corresponding arrow below could be regarded as 'blocked'. "AND" and "OR" conditions, are used to evaluate the outcome of multiple statements. The "cloud-symbol" explains initial conditions.

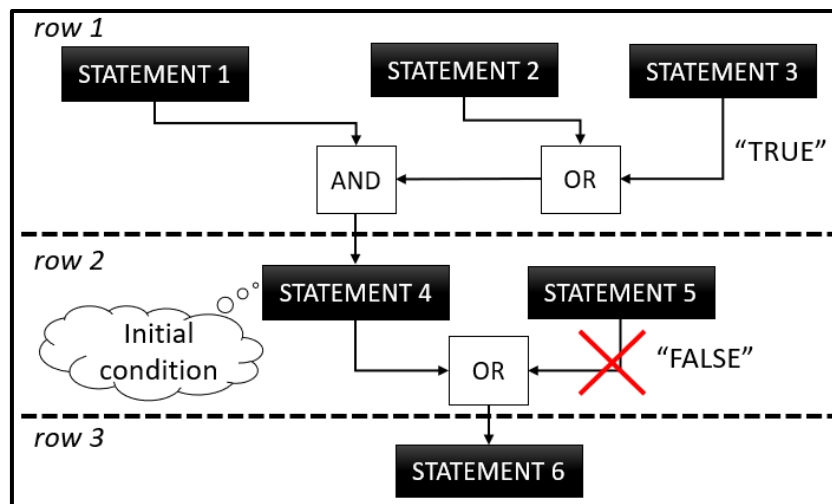


Figure 3.32: Schematization of a possible algorithm.

Examples of possible algorithms are shown in Table 3.26, which are explained below.

#### *Extra electrical on/off pump at 07533GM*

Currently, the electrical on/off pump at 07533GM only considers the upstream water level at 07533GM. Sub-polder P-H02.001 contains a vast surface area. Strong gusts of wind could cause large water level fluctuations. Therefore, it is more accurate to use more measurement locations. Thus, the extra on/off pump at 07533GM can react more quickly, enabling to pump out more water.

#### *Use downstream measurement locations at inlets*

Sub-polder P-H02.004 is stretched out enabling the water level to fluctuate. This could result in higher water levels at inlet Nieuw-Beijerland in comparison to the upstream water level at 44797AF. At this situation it more applicable to look at the downstream water level at inlet Nieuw-Beijerland, giving the weir 44797AF an earlier opportunity to react. Therefore, the surplus of water could be drained away faster. This algorithm can be applied during phase 0, of the Risk informed strategy. It's not desirable to apply this algorithm during the Equal filling strategy, in which the surplus of water is retained in the sub-polders located upstream. If inlets Den Hitsert and inlet Piershil would be automated a similar method could be applied at sub-polders P-H02.007 and P-H02.002. These algorithms are colored in grey.

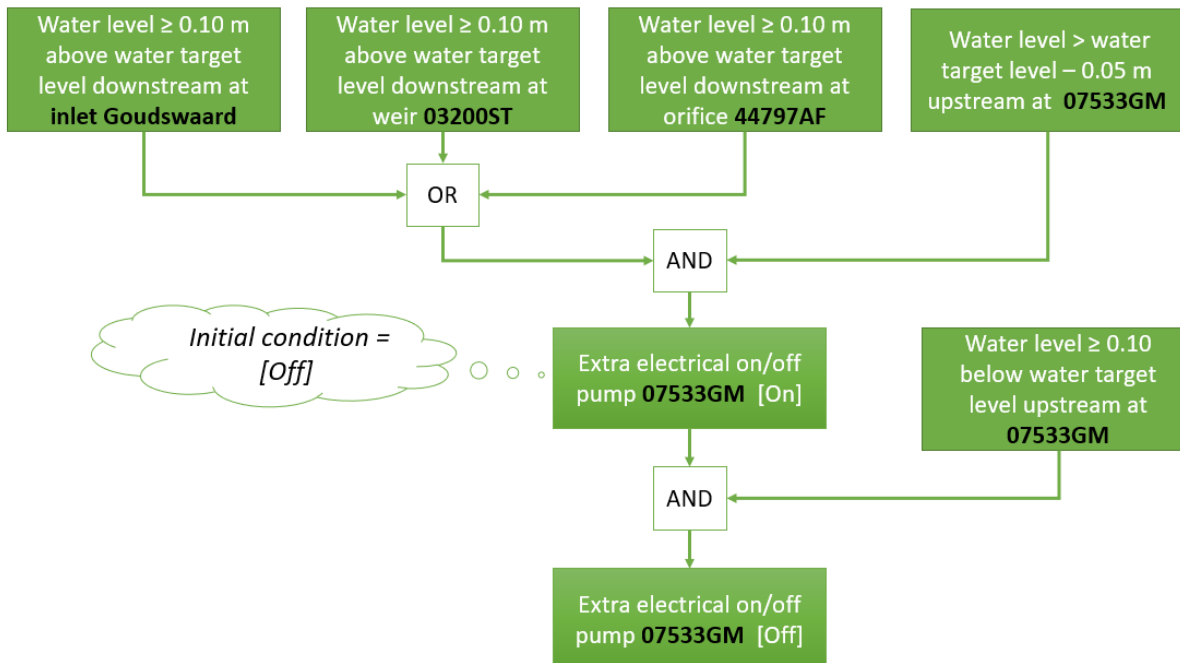
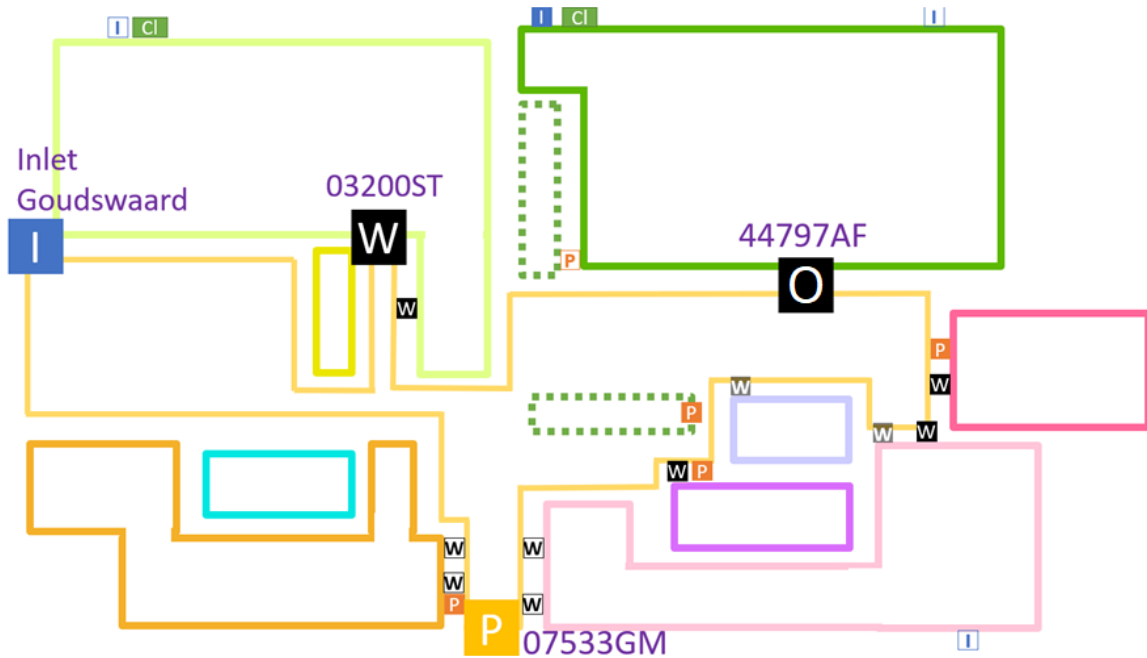
#### *Applying a pro-active pumping strategy in a DSS*

In SCADA it is not possible to include extern information such as weather forecasts. In a DSS it is

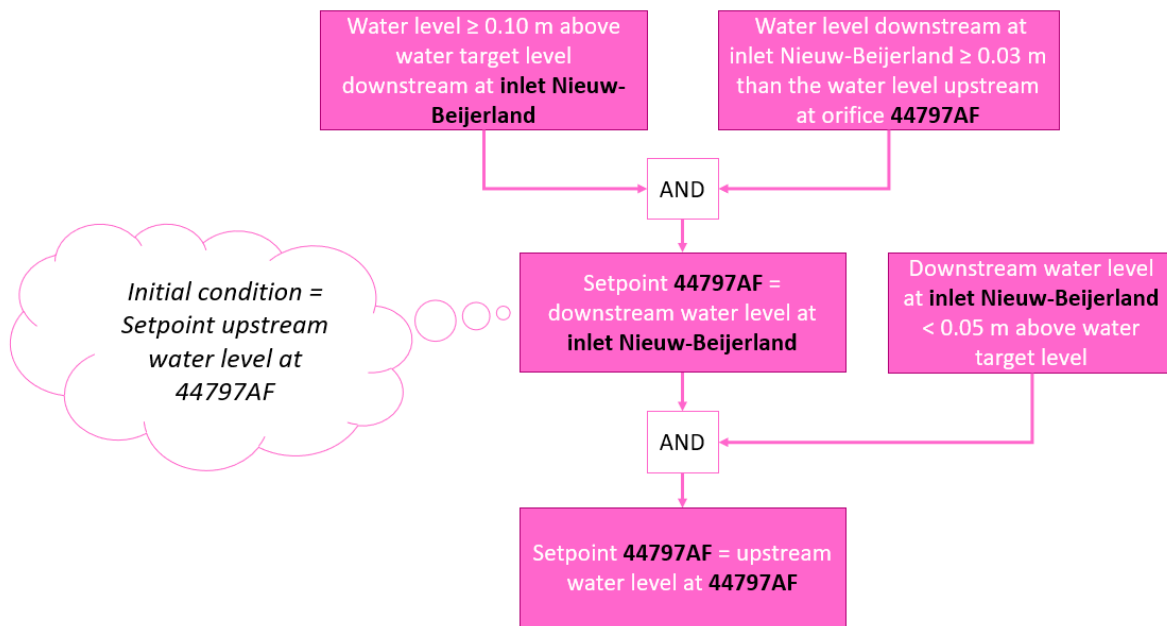
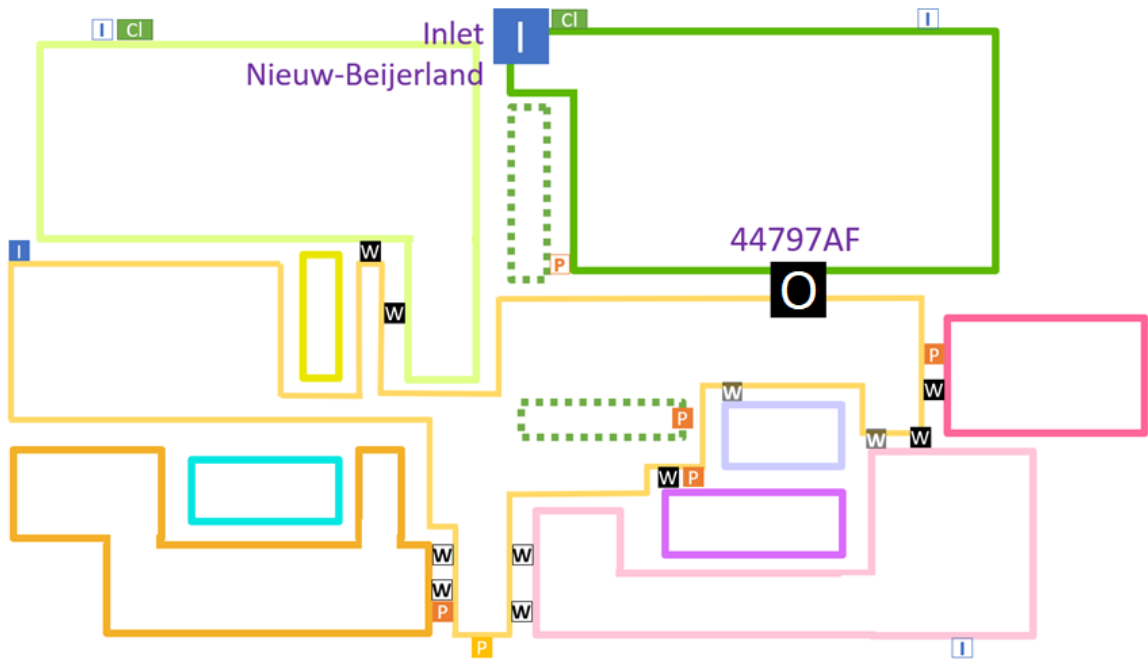
possible to implement a pro-active pumping strategy, in which the water level is lowered in advance to an intense rainfall forecast.

Table 3.26: Possible algorithms to mitigate the effect of an intense rainfall event. The algorithms are elaborated Appendix 20 Excel tab 11.

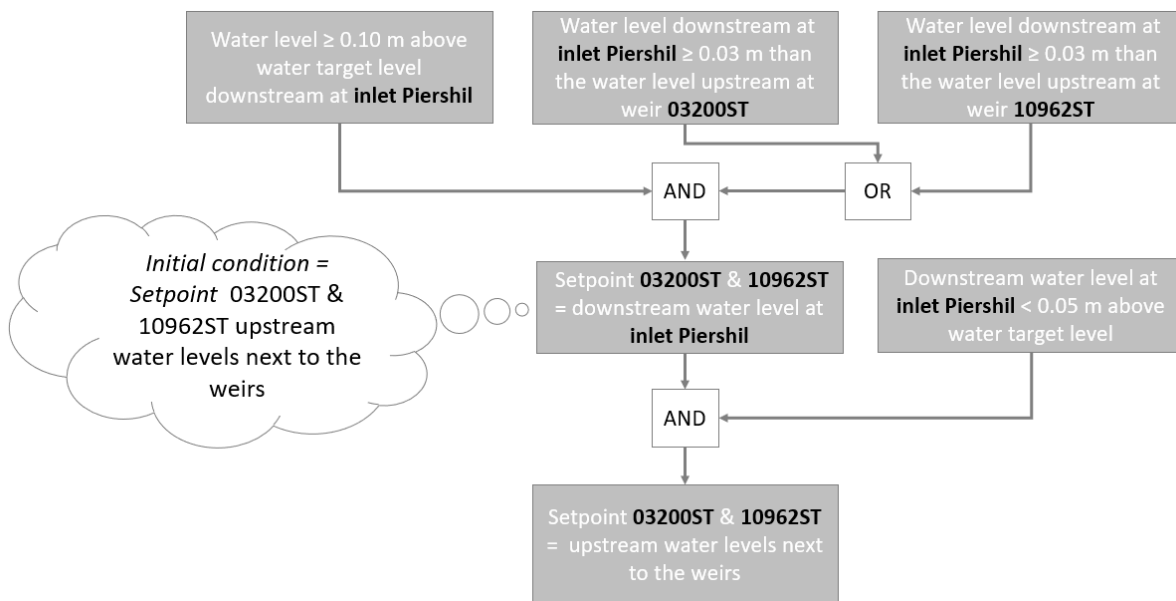
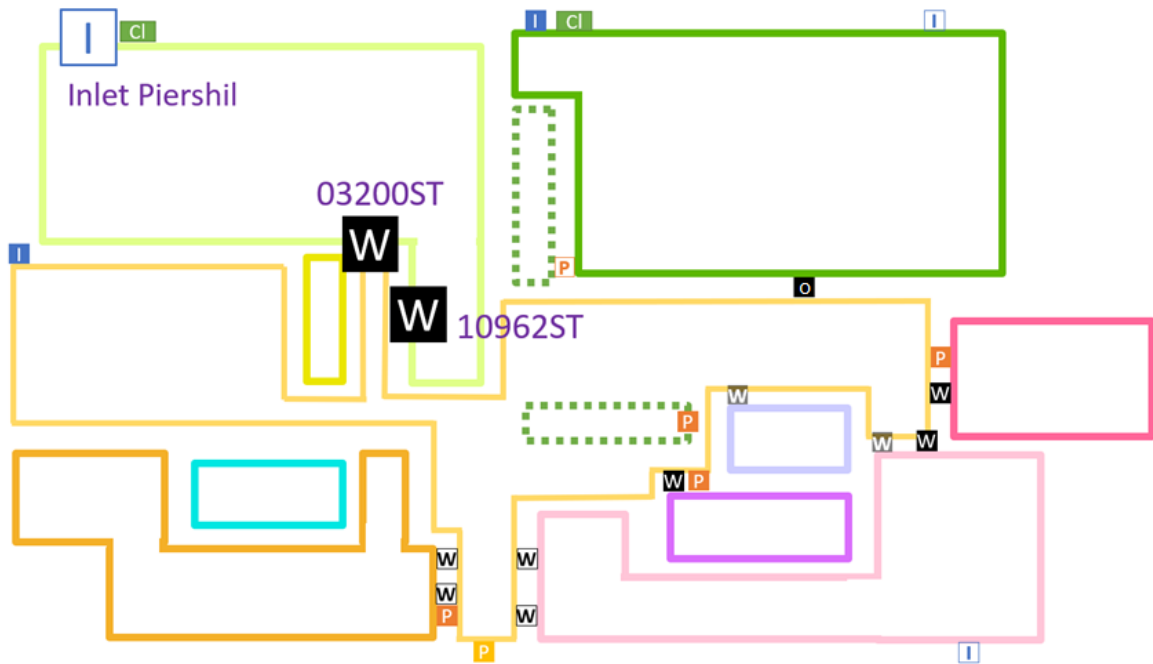
**Extra electrical on/off pump at 07533GM**



Use of downstream measurement location Inlet Nieuw-Beijerland

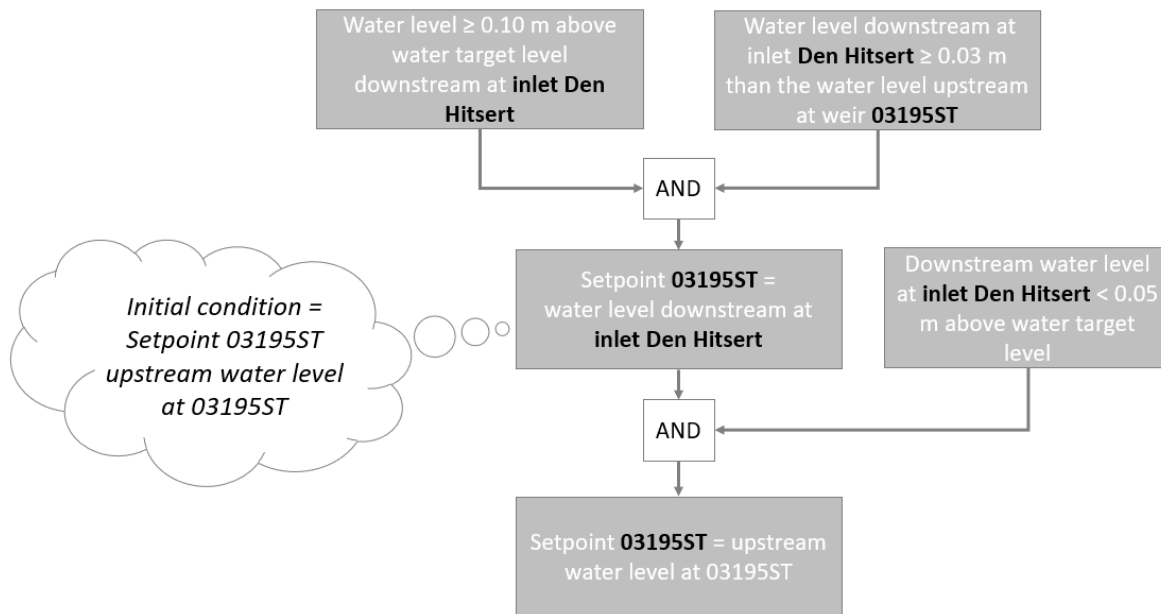
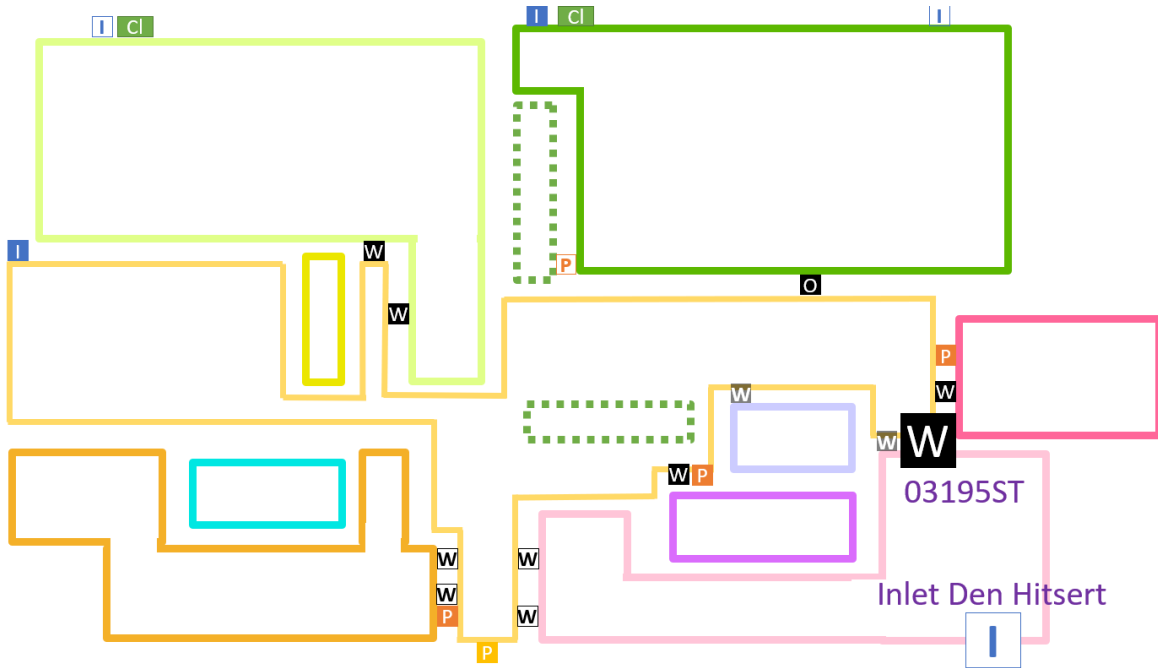


## Use of downstream measurement location Inlet Piershil

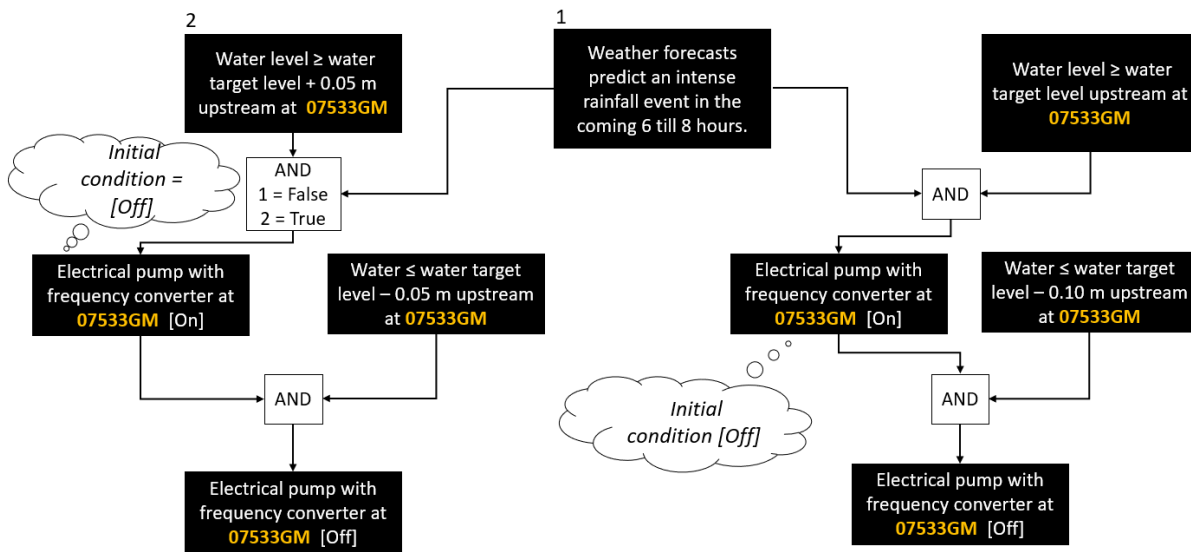
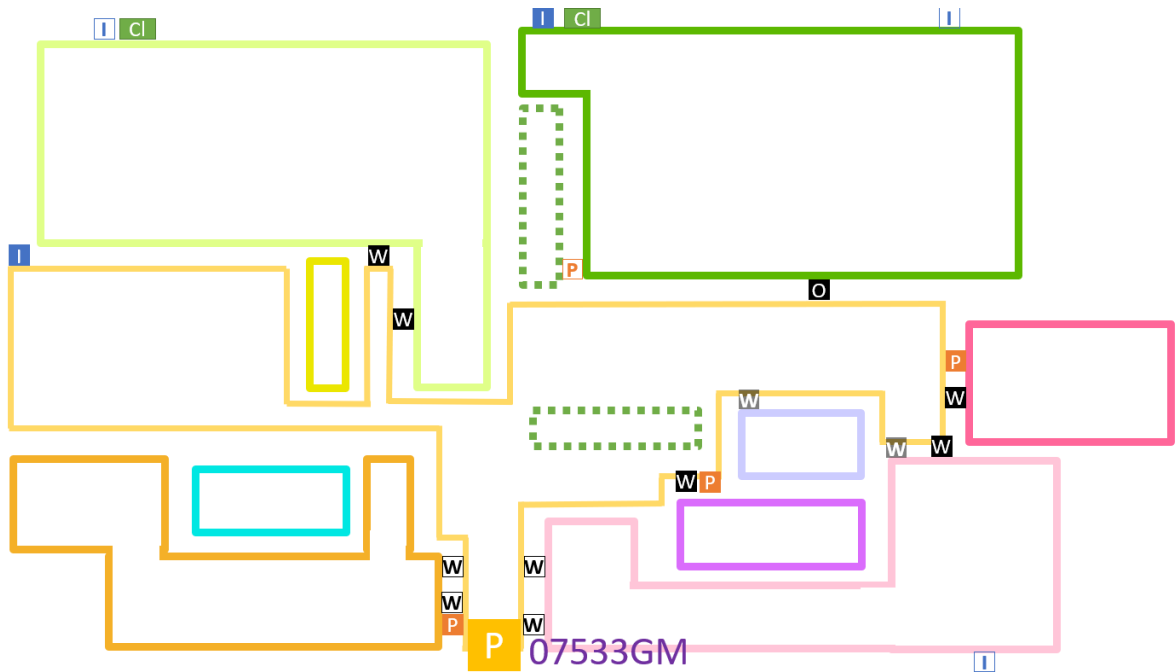




**Use of downstream measurement location inlet Den Hitsert**



## Applying a pro-active pumping strategy in a DSS



## 4. Discussion

Current management practices in the Eendragt polder have been outlined. It would be interesting to compare these management practices with other management areas of WSHD. This can be done by performing additional interviews with other regional water managers. Some water management goals of WSHD are conflicting and should be elaborated further. For instance, some sustainability goals should be prioritized and specified. This helps in formulating clear aims for the RCS's. To save costs or to enhance fish migration, it could be useful to investigate at which times it's most beneficial to pump.

Subsequently, multiple experts from various organisations have been interviewed regarding the application of Smart water management. The semi-structured interviews have led to a wide variety of possible answers. WSHD is still in an orienting phase, therefore this type of interview has helped to get valuable insights about the constraints and benefits of implementing Smart water management.

The obtained knowledge has been applied in scenarios, regular, prolonged drought, and intense rainfall, which incorporate circa 90% of the possible meteorological conditions and potential circumstances. The scenarios prolonged drought and regular circumstances should be further elaborated. Moreover, other meteorological conditions could be integrated into a RCS such as "wind set up" during a severe storm, or "ice formation". Unexpected circumstances, such as failure of assets, or the accumulation of sediments, which is dependent on the mowing policy, are not considered in the scenarios.

The large variability of possible prioritizations of interests during regular circumstances and a prolonged drought complicated the design of a well-argued management strategy. Supplementary, more detailed information regarding groundwater seepage could give a more detailed insight into the effect of closing the inlets during a period of drought.

Consequently, the management strategies Equal filling degree and Risk informed managed strategy to mitigate intense rainfall events have been elaborated further. In the Risk informed management strategy, the sub-polders have been divided into vulnerability levels, which have been determined by the risk of inundation. The risk is equal to the chance of inundation multiplied by the effect of inundation. To make it more comprehensible this is done in a simplistic manner. Additional research could be done on the economic value of certain land-use types. SOBEK simulations of WSHD provide information regarding the chance of inundation. In 2027 WSHD aims to meet the flooding standards by minimizing the effects of intense rainfall. However, these simulations still provide valuable information regarding which areas are more susceptible to inundation. The sub-polders that were most vulnerable got the highest filling degrees. Multiple combinations were possible. In future research, other possible combinations should be compared, for instance this could be done through machine learning.

The effectiveness of the discussed management strategies has been evaluated by performing simulations in SOBEK. SOBEK represents a simplified version of reality; hydrological processes present in the Eendragt polder have been imitated by utilizing physical laws. The used SOBEK model encountered several constraints.

To lower model complexity and to save calculation time, only the main waterways in the Eendragt polder have been schematized. The role of wind is not considered in the SOBEK model, especially in widespread polders this could have a large effect on the water level. Moreover, only one specific rainfall event has been used in the simulation, this rainfall event falls evenly throughout the polder. A wide range of rainfall events is possible, which could occur in different parts of the Eendragt polder. A sub-polder designated as not vulnerable can suddenly become vulnerable, affecting the Risk informed management strategy.

Additionally, several assumptions have been made. Firstly, to get a general view of the vulnerabilities in the Eendragt polder the lowest critical ground level in each sub-polder has been analysed. In practice, there is a critical groundwater level for each predetermined function. More critical ground water levels could be used to make the managed strategy more precise. A more precise management strategy corresponds with the need for a larger number of adjustable weirs. This complicates the determination of the preferred management strategy. The degree of accuracy must however be in alignment with the potential accuracy at which the weirs are able to manage the height of the water levels. The Eendragt polder possesses a limited number of assets and measurement locations.

Secondly, the initial state has been estimated. The initial state largely determines whether inundation occurs. In the SOBEK simulations, the ground is already saturated with moisture. Detailed information regarding the groundwater flow, soil characteristics, and local measures of farmers could give a more accurate insight into the available storage capacity.

Lastly, assumptions were made to simulate the Equal filling degree strategy into SOBEK. In contrast to SCADA, SOBEK can only look at one measurement location at the weir. In the Equal filling degree strategy both upstream and downstream water levels are important. In the SOBEK simulations, there is only looked at the water level downstream. The filling degree upstream can be adjusted by changing the crest level height. The overflow height at the weir had to be estimated to determine the corresponding water level. To determine the overflow height a constant discharge has been used. Nonetheless, the overflow height fluctuates due to changes in discharge. As a result, an equal filling degree could not always be guaranteed.

Overall, the four Equal filling degree simulations to evaluate the effect of automating all adjustable weirs, accommodating a 100% filling degree for all adjustable weirs, has shown a clear effect on the height of the water levels. Therefore, it can be concluded that similar methods can be applied to other areas of WSHD. Still the effect of the Risk informed management strategy must be demonstrated.

A large variety of algorithms is possible. Algorithms serve to stir up discussions within WSHD about which management options could best be applied. The development of RCS's is part of an ongoing process, improvements can be made interactively.

There is a wish from the organization to make the RCS not too complicated. This makes the model more understandable for more people within the organization. Therefore, it is preferable to use a fewer number of parameters. A RCS could be applied during emergency situations. The RCS contributes to transparent and fast management decisions. This research has gained insight into the possibilities and constraints of applying Smart water management, which serves as a starting point for future developments inside or outside WSHD.

## 5. Conclusion

By performing both quantitative and qualitative research this thesis has investigated the following question: "How can the control of assets in the polder "De Eendragt" be integrated to have a water system that is adaptive to changing meteorological conditions?".

WSHD must mitigate the adverse effect of more severe weather extremes due to climate change by ensuring clean and enough water in the polder system. An exploratory study consisting of interviews showed that the effect of a prolonged drought or an intense rainfall event is largely dependent on local characteristics and the initial state. The uncertainty of a rainfall event can be diminished by postponing decisions or performing high frequent calculations. The input parameters are strongly dependent on the goals and robustness of the polder system, more data locations and a proper evaluation of the data input improves the accuracy of the results. Urgency levels or displacement series can serve as signal values. To accomplish an optimal result, clear communication is needed regarding the supportive function of the DSS in which the goals and shortcomings are communicated.

Everything that is not exceptional and not defined as prolonged drought, or an intense rainfall event is defined as regular. The most effective management is dependent on a clear prioritization of the interests. A prolonged drought occurs if the water level drops further than the maximal allowed drop in water level. The seasonal variability of crops and the heterogeneity of the Eendragt polder has made it undesirable to develop a management strategy based on vulnerability levels during a prolonged drought. Two proposed strategies to mitigate the effect of an intense rainfall event, Equal filling degree and Risk informed management have been analyzed by performing multiple simulations.

In comparison to the current management strategy to mitigate an intense rainfall event, both strategies show a more equal distribution of the surplus of water. The advanced Risk informed management strategy does not result in different maximum water levels when simulating a T=100 rainfall event. This could be due to a too high rainfall intensity. Further research is needed to determine whether the Risk management strategy has the potential to mitigate the effect of an intense rainfall even further in comparison to the Equal filling degree strategy.

The simulations show that the strategies are most effective if all weirs are automated and can reach a 100% filling degree. For the implementation of Smart water management, it can therefore be concluded that investing in a higher degree of automated weirs, combined with an increase in the crest level height leads to more favorable results in mitigating intense rainfall events. Multiple algorithms during an intense rainfall event are given. The most appropriate algorithms must later be specified according to the wishes of WSHD.

Smart water management offers great potential for the Eendragt polder to make more transparent decisions by utilizing a supporting role. This could best be achieved by having a clear prioritization of the interests and goals of WSHD.



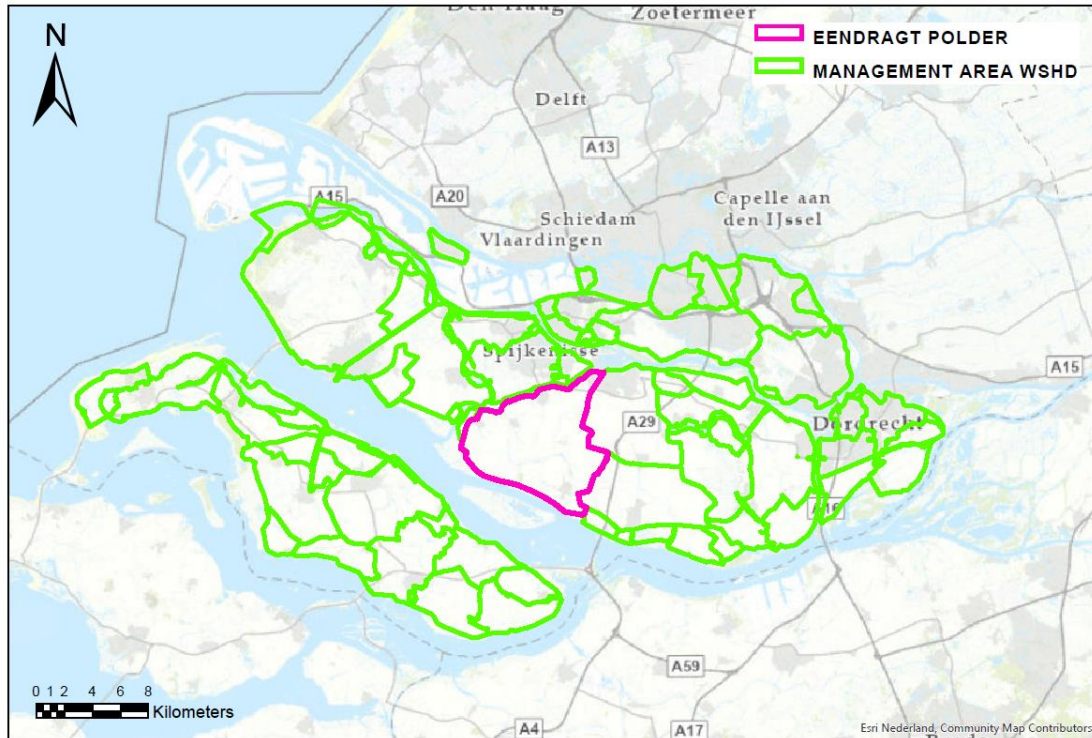
## 6. References

- Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., & Prather, M. (2007). *Historical Overview of Climate Change Science*. Working Group I to the Fourth Assessment Report of IPCC. United Kingdom and USA: Cambridge University Press. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4-wg1-chapter1.pdf>
- Bakker, M. L. (2014). *Evaluatierapport Wateroverlast oktober 2013*. Ridderkerk: WSHD.
- Beersma, J., Hakvoort, H., Jilderda, R., Overveen, A., & Versteeg, R. (2019). *Neerslagstatistiek en-reeksen voor het waterbeheer 2019*. Amersfoort: STOWA.
- Beersma, J., Peerdeman, K., Hakvoort, H., Talsma, M., & Van Weeren, B.-J. (2019). *Een actueel beeld van de kans op extreme neerslag*. Utrecht: Stowa. Retrieved from <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202019/STOWA%202019-19A%20brochure%20neerslagstatistiek.pdf>
- Boeyen, H., Stoutjesdijk, E., & Van Gorsel, J. (2013). *Peilbesluiten bij Hollandse Delta*. Ridderkerk: WSHD. Retrieved from [https://www.wshd.nl/\\_flysystem/media/nota\\_peilbesluiten\\_jan\\_2013.pdf](https://www.wshd.nl/_flysystem/media/nota_peilbesluiten_jan_2013.pdf)
- BZK, IenW, ministerie van LNV. (2019). *Deltaprogramma 2020*.
- CBS. (2017, 01 31). *Nederlandse landbouwproductie 1950-2015*. Retrieved from [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl): <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/05/nederlandse-landbouwproductie-1950-2015>
- De Klerk, A., & Van Riemsdijk, N. (2016). *Visie op besturing van het watersysteem*. Ridderkerk: water board Hollandse Delta.
- De Vries. (2014). *Toetsing robuustheid Brielse Meer voor zoetwatervoorziening*. Delares. Retrieved from <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksprojecten-LNV/Expertisegebieden/kennisonline/Robuustheidsonderzoek-Brielse-Meer-fase-2-1.htm>
- Deltares. (2021). *SOBEK Suite*. Retrieved from [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl): <https://www.deltares.nl/en/software/sobek/>
- European Environment Agency. (2017, 02 15). *Mean precipitation*. Retrieved from [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu): <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/european-precipitation-2/assessment>
- Foxx, T. S., Tierney, G. D., & Williams, J. M. (1984). Rooting Depths of Plants Relative to Biological and Environmental Factors. *No. LA-10254-MS Los Alamos National Lab., NM*.
- Fraters, B., Hooijboer, A. E., Vrijhoef, A., Claessens, J., Kotte, M. C., Rijs, G. B., . . . Van Bruggen, C. (2016). *Agriculture practice and water quality in the Netherlands status (2012-2014) and trend (1992-2014)*. Bilthoven: RIVM.
- Haberle, J., & Svoboda, P. (2015). Calculation of available water supply in crop root zone and the water balance of crops. *Contributions to Geophysics and Geodesy 45.4*, 285-298.
- Houghton, J. (2015). *Global Warming, the complete briefing* (Fifth Edition ed.). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Huinink, J., Verstraten, F., Jannssen, J., Mooij, M., Beijer, L., & Van der Wees, A. (1998). *Het economisch belang van water in de landbouw*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Facilitaire Dienst.
- HydroLogic. (2020). *Onderzoek lange termijn risico's verzilting en waterbeschikbaarheid*. WSHD.
- Keur voor waterschap Hollandse Delta. (2018, 12 19). *Waterschapsblad van Waterschap Hollandse Delta*. Retrieved from [www.overheid.nl](http://www.overheid.nl): <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/wsb-2018-12522.html>
- Klein Tank, A., Beersma, J., Bessembinder, J., Van den Hurk, B., & Lenderink, G. (2014, 05 01). *KNMI'14: Klimaatscenario's voor Nederland*. Retrieved from [www.respository.tudelft.nl](http://www.respository.tudelft.nl): <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ad7a3208b-86ac-4aec-9fcb-925e53fadad1>
- Kuipers, F., & De Ruiter, H. (2021). *Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit*. Ridderkerk: WSHD.
- Kundzewicz, Z. W., Radziejewski, M., & Pinskiwar, I. (2006). Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research*, 51-58.
- Läkamp, R., Van Hussen, K., Van de Velde, I., & Van der Kooij, S. (2019). *Economische schade door droogte in 2018*. Ecorys. Retrieved from

- <https://www.ecorys.com/nl/nederland/latest-news/eerste-economische-effecten-van-droogte-2018-beeld>
- Lobrecht, A., Vos, S., Van Overloop, P. J., & Van Norel, H. (2005). BOS Hoog Water Groningen. *H2O*, 36-39.
- Loos, S., Esenkbrink, J., Van Norel, H., & Lobbrecht, A. (2008). *Nieuwe beslissingsondersteunende systemen voor het operationele waterbeheer*. H2O.
- Maandag, H., & De Rooter, H. (2018). *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*. Ridderkerk: WSHD.
- Merz, R., & Blöschl, G. (2003). A process typology of regional floods. *Water Resources Research*, 39(12).
- Mettrop, I. S., Loeb, R., Lamers, L. P., Kooijman, A. M., Cirkel, D. G., & Jaarsma, N. G. (2012). *Een meer natuurlijk peilbeheer: relaties tussen geohydrologie, ecosysteem-dynamiek en Natura 2000*. Den Haag: Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Retrieved from [https://www.natuurkennis.nl/Uploaded\\_files/Publicaties/obn165-lz-een-meer-natuurlijk-peilbeheer-fase-1.08c453.pdf](https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/obn165-lz-een-meer-natuurlijk-peilbeheer-fase-1.08c453.pdf)
- municipality of Rotterdam. (2021). *Waterveiligheid in de Rijn-Maasdelta*. Retrieved from [www.rotterdam.nl](http://www.rotterdam.nl): <https://www.rotterdam.nl/wonen-leven/waterveiligheid/>
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., Vries, B. D., Fenhann, J., Gaffin, S., & Zhou, D. (2000). *IPCC Special Report Emmissions scenerios*. IPCC. Retrieved from <https://escholarship.org/content/qt9sz5p22f/qt9sz5p22f.pdf>
- Nitrogen B.V. (2021). *Beoordeling van beworteling*. Retrieved from [www.nutrinorm.nl](http://www.nutrinorm.nl): <https://nutrinorm.nl/bodem/beoordelen-van-de-bodem/beoordeling-van-beworteling/>
- Oomen, E., Rosbergen, W., Nieuwenhuis, M., Hendriks, B., Romijn, R., Klopstra, D., & Talsma, M. (2011). *Standaard werkwijze voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast*. Amersfoort: STOWA.
- Oude Essink, G. H., Stuyfzand, P. J., Van der Zee, S. E., & De Louw, P. G. (2010). Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders, the Netherlands. *Journal of hydrology*, 494-506.
- Oude Essink, G., & De Louw, P. (2014). *Brackish seepage*. Stowa.
- Pall, P., Allen, M. R., & Stone, D. A. (2007). Testing the Clausius–Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO2 warming. *Climate Dynamics*, 351-363.
- Reidsma, P., & Veraart, J. (2021, 03). *Effecten klimaatverandering op landbouw*. Retrieved from [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl): <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/effecten-klimaatverandering-op-landbouw>
- Rijksoverheid. (2001). *Het Nationaal Bestuursakkoord Water*. Retrieved from [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl): <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/@176067/nationaal/>
- Rijkswaterstaat. (2021). *Keur*. Retrieved from [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl): <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/waterschapswet-0/inhoud/keur/>
- Rijkswaterstaat. (2021). *Normen voor wateroverlast*. Retrieved from [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl): <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema-s/wateroverlast-0/normen-wateroverlast/>
- Roelsma, J., Kselik, R. A., & De Vos, J. A. (2008). *Watersysteemverkenning Noordelijke Friese Wouden*. Wageningen: Alterra. Retrieved from <https://edepot.wur.nl/31734>
- Schuetze, T., & Chelleri, L. (2011). Climate adaptive urban planning and desing with water in Dutch polders. *Water Science & Technology*, 50-62.
- Schuermans, W., Beukema, P., & Van Overloop, P. J. (2003). Delfland kiest voor volledig automatische bediening van bezoemgemalen. *H2O*, 12-13.
- Slinger, J., & Smits, F. (2019, 09 12). *Transpiratie van bomen*. Retrieved from [www.waternet.nl](http://www.waternet.nl): <https://www.waternet.nl/innovatie/klimaatadaptatie/transpiratie-van-bomen/>
- Stoutjesdijk, C. (2015). *Peilbesluit De Eendragt*. Ridderkerk: WSHD.
- Stoutjesdijk, E. (2015). *Gebiedsanalyse De Eendragt*. Ridderkerk: WSHD.
- Stuyt, L. C., Segeren, A. G., Witteveen, B., Lobbrecht, A. H., Van der Windt, N., Van Bakel, P. J., & Van Zanten, H. J. (2000). *Decision Support System Hoogwater in Regionale*

- Watersystemen*. Stowa & LWI. Wageningen: Alterra. Retrieved from <https://edepot.wur.nl/31630>
- Tekinerdogan, B. (2021). *Decision Support System for Smart Farming*. Retrieved from [www.wur.nl](http://www.wur.nl): <https://www.wur.nl/en/article/Decision-Support-System-for-Smart-Farming.htm>
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 359-392.
- Van Nguyen, V., & Wood, E. W. (1979). On the morphology of summer algae dynamics in non-stratified lakes. *Ecological modelling*, 117-131.
- Van Overloop, P. J. (2006). *Model Predictive Control on Open Water Systems*. Bergen op Zoom: Technical Univeristy Delft.
- Van Slooten, M. (2020, 05 26). *Met OWASIS de (droge) zomer door*. Retrieved from [www.hydrologic.nl](http://www.hydrologic.nl): <https://www.hydrologic.nl/met-owasis-de-droge-zomer-door/>
- Waterbesluit. (2009, 11 30). Retrieved from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026872/2020-10-01>
- Waterschapswet. (1991, 06 06). Retrieved from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0005108/2021-07-01>
- Waterverordering Zuid-Holland*. (2009, 12 22). Retrieved from [www.overheid.nl](http://www.overheid.nl): [https://decentrale.regelgeving.overheid.nl/cvdr/xhtmloutput/Historie/Zuid-Holland/72380/72380\\_1.html](https://decentrale.regelgeving.overheid.nl/cvdr/xhtmloutput/Historie/Zuid-Holland/72380/72380_1.html)
- Waterwet. (2009, 01 29). Retrieved from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2021-07-01>
- Weerplaza. (2021). *Harmonie*. Retrieved from [www.weerplaza.nl](http://www.weerplaza.nl): <https://www.weerplaza.nl/weerkaarten/harmonie/>
- WFD. (2005). *Common Implementation Strategie for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. Luxembourg: European Commission.
- WHO. (2000). *Standardized Reference Emission Scenarios (SRES)*. Retrieved from [www.who.int](http://www.who.int): [https://www.who.int/globalchange/resources/vulnerability\\_adaptation/case\\_studies/box\\_18/en/#:~:text=The%20SRES%20were%20developed%20as,unfold%20\(Nakicenovic%2C%202000\).&text=Each%20SRES%20storyline%20assumes%20a,differ%20in%20increasingly%20irreversible%2](https://www.who.int/globalchange/resources/vulnerability_adaptation/case_studies/box_18/en/#:~:text=The%20SRES%20were%20developed%20as,unfold%20(Nakicenovic%2C%202000).&text=Each%20SRES%20storyline%20assumes%20a,differ%20in%20increasingly%20irreversible%2)
- WSHD. (2009). *Definitieve waterbeheerplan*. Ridderkerk: WSHD.
- WSHD. (2015). *Waterbeheerprogramma 2016-2021*. Ridderkerk: WSHD.
- WSHD. (2018, 09 27). Aan de Verenigde Vergadering Beschikbare krediet project Nieuwe Besturing Watersysteem-TA. Ridderkerk, Zuid-Holland. Retrieved from <https://openarchivaris.nl/blob/ce/a0/06f068ef7f084dae213d41c75660.pdf>
- WSHD. (2021). *Waterbeheerprogramma 2022-2027 (concept version)*. Ridderkerk: WSHD.

## A pro-active regional control system framework for the polder “De Eendragt” in the Netherlands.



Name:	Nathalie van Tricht
Student number:	6940420
Date	4 <sup>th</sup> August 2021
Email:	<a href="mailto:n.c.vantricht@students.uu.nl">n.c.vantricht@students.uu.nl</a> or <a href="mailto:N.vanTricht@wshd.nl">N.vanTricht@wshd.nl</a>
University Supervisor:	Dr. Jaivime Evaristo
Internship Organization:	Waterschap Hollandse Delta (WSHD)
Department	AA (Advice & Automation)
Supervisor internship organization:	Thijs Ijpelaar
Period	8th February till 3rd July, 2021 30 ECTS 3rd and 4th period

# Index

Appendix 1 Field visit De Eendragt, plus contact with regional water manager.....	i
1. Photos Eendragt .....	i
2. Field visit (12-03-2021) and email contact Frijters (25-03-2021) .....	i
3. Question email Frijters Management polder (25-03-2021).....	ii
4. Question email Frijters setting assets (09-06-2021).....	iii
Appendix 2 Specifications Inlets and Pumping station “De Eendragt” .....	i
1. Inlets.....	i
2. Pumping station the Eendragt. ....	i
3. Renovation plans and corresponding pumping capacity.....	ii
Appendix 3 Interview with Hamels & Huybens regarding pumping station De Eendragt (17-03-2021) .....	i
Appendix 4 Interview with Kuipers regarding water quality (11-03-2021).....	i
Appendix 5 Water quantity and water quality goals.....	i
1.1. Chloride concentration and requirements .....	i
1.1.1. Chloride concentrations at inlets .....	i
1.1.2. Groundwater seepage.....	iii
1.2. Nutrient concentration and requirements .....	iv
1.3. A sufficient flow.....	v
1.4. Needed inlet capacity .....	vi
1.5. Monitoring.....	viii
Appendix 6 Decision support system .....	i
1. Meteorological data .....	i
2. Important parameters .....	iii
3. Groundwater levels .....	iv
4. Data locations .....	v
5. Limit & signal values .....	v
6. Important lessons implementation DSS .....	vi
Appendix 7. Interview with Fritz. Hydrologist at water board (08-04-2021).....	i
Appendix 8 Interview with Van Heeringen, specialist operational water management at a research institute & consultancy firm water sector (24-03-2021).....	i
Appendix 9 Interview with Krol, data scientist at a consultancy firm water sector (26-03-2021) ....	i
Appendix 10 Interview with Loos, advisor & product manager at a consultancy firm water sector (24-03-2021).....	i
Appendix 11 Interview with van Norel, Employee at a water board (16-03-2021) .....	i
Appendix 12 Interview with den Ouden, at the department water systems at a waterboard (02-04-2021).....	i
Appendix 13 Interview with Raat, Employee at a waterboard (17-03-2021) .....	i
Appendix 14 Management regular circumstances goals for pumping station .....	i
Appendix 15 Chance of inundation.....	i
Appendix 16 Equal filling degree simulation into SOBEK .....	i



Appendix 17 Risk informed management simulation into SOBEK .....	i
Appendix 18 Excel file .....	3
References .....	4

## **7. Appendix 1 Field visit De Eendragt, plus contact with regional water manager.**

1. Photos Eendragt
2. Field visit (12-03-2021) and email contact Frijters (25-03-2021)
3. Question email Frijters management polder (25-03-2021)
4. Question email Frijters settings assets (09-06-2021)

### **a. Photos Eendragt**

- Inlet Brakelsveer
- Inlet Goudswaard
- Inlet Piershil
- Inlet Nieuw-Beijerland
- Inlet Den Hitsert
- Pumping Station De Eendragt
- Weir Ronduitweg
- Weir Steegjesdijk
- Weir Noorddijk

### **Inlet Brakelsveer**





**Inlet Goudswaard**







**Inlet Piershil**





**Inlet Nieuw-Beijerland**







**Inlet Den Hitsert**

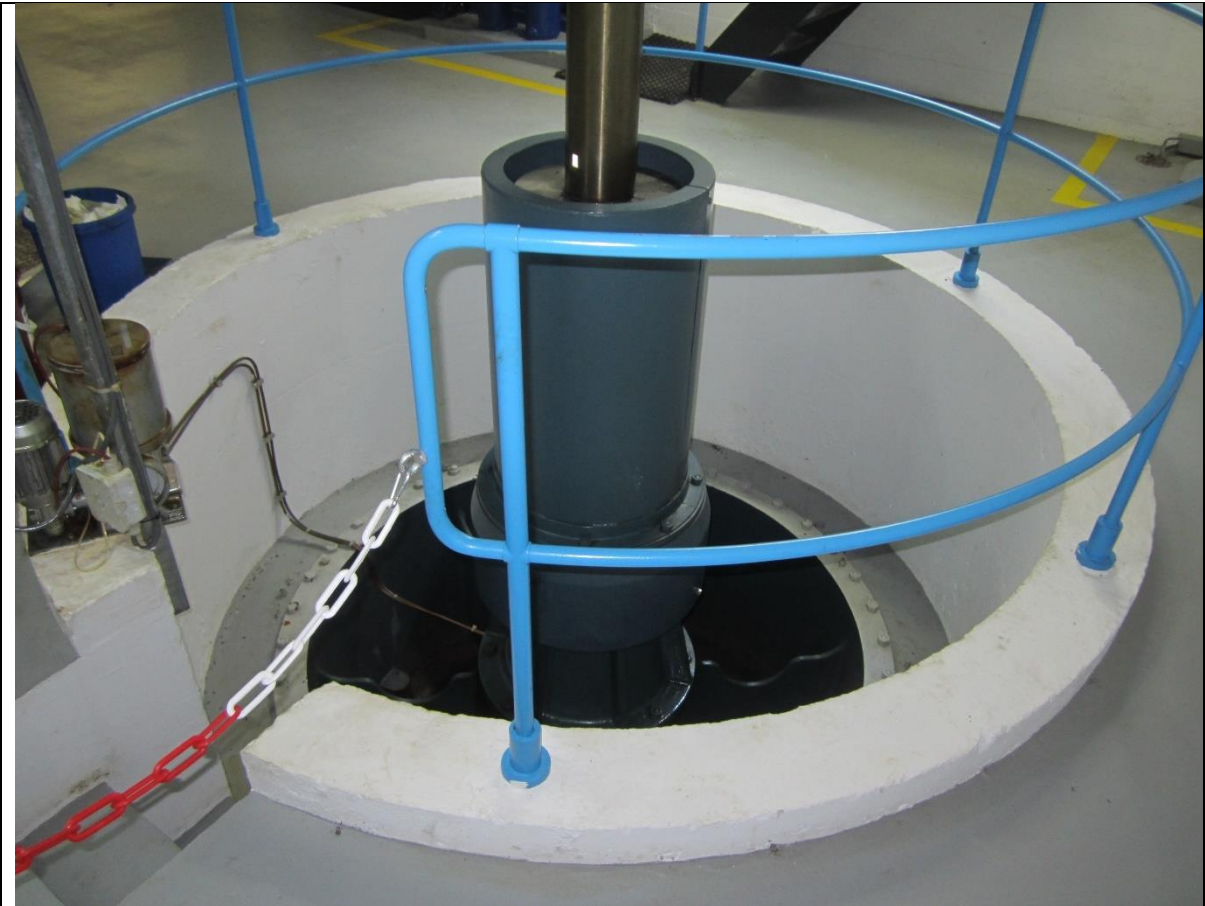






**Pumping station De Eendragt**







## Weir Ronduitweg





## Weir Steegjesdijk





## Weir Noorddijk





**b. Field visit (12-03-2021) and email contact Frijters (25-03-2021)**

Contact via mail voor controle en gesprek tijdens planbezoek

1. *Wat is je rol als gebiedsbeheerder van de Eendragt polder? (wat is precies het verschil met de peilbeheerder?)*

Gebiedsbeheerder loopt rond in het gebied, en is het aanspreekpunt. De peilbeheerder gaat over het watersysteem, moet ervoor zorgen dat alle peilen kloppen.

2. *Hoe ziet de sturing eruit tijdens regulier peilbeheer van de polder? (hoogte van de stuwen en het inlaten van water, en gebruiken van het gemaal?)*

Veel controleren in regulier bedrijf sturen wij zo min mogelijk bij

3. *Hoe ziet de sturing van de Eendragt polder eruit in periode van droogte? (In welke delen van de polder treden er problemen op, wordt er bijvoorbeeld water vastgehouden?)*

Polder H02.002, H02.005 en H02.008

Er wordt water ingelaten. Agrariërs moeten een melding geven als ze gaan beregenen.

4. *Hoe ziet de sturing van de Eendragt polder eruit in periode van een extreme neerslag bui? (hoe wordt het water verdeeld wordt er bijvoorbeeld al voorgemalen?)*

Voormalen is lastig omdat de weer berichten vaak niet betrouwbaar zijn en in natte periode verlaag ik wel het peil met 5 of 10 cm beetje afhankelijk van de periode en de neerslag. Rekening houden met het maai beleid in de zomer. In de zomer zitten de watergangen dicht. Alles gaat naar de lager gelegen gedeeltes. Bij de terugkeertijden moet er rekening worden gehouden dat de watergangen soms nog vol zitten met waterplanten. Ook moet er rekening gehouden worden met de baggercyclus.

Kijken of het water langer kan worden vastgehouden in het hoger gelegen gedeelte, zodat het niet gelijk naar het laagste peilvak stroomt.

5. *Op welke locaties in de polder zijn er vaak knelpunten? (brakke kwel, overstorten, te hoge of juiste te lage peilstijging)*

Inlaat Brakelsveer = laat ook veel zand in, wordt weinig gebruikt.

Peilvak 2.5: De pomp bij Noorddijk te klein.

Inlaat Nieuw-Beijerland = chloride meter is in aquaview en inlaat in Sitec. Dit zijn 2 verschillende systemen.

Peilvak 2.2. = Chloride meter.

Peilvak 2.6 = Hoog chloride gehalte. De opbemaling tegen zout is te klein, dit is een vermoeden van mij

6. *Hoe kijk je aan tegen gebiedsregelingen, is er in het verleden als met iets soort gelijks gebruik gemaakt, hoe zie je jouw rol?*

Kijkt positief naar gebiedsregelingen, mist er zeggenschap blijft om te kunnen blijven ingrijpen. Er moeten regels worden toegevoegd over wat er wel en niet kan gebeuren. Er moet in kunnen worden gegrepen als bijvoorbeeld een duiker verstopt is geraakt. Ook moeten er in het midden van de polder peilmetingen komen. Het waterpeil achter in de polder kan erg verschillen met het waterpeil bij de stuw.

7. *Spreek je veel met bewoners/agrariërs in het gebied, wat zijn hun wensen?*

In de zomer moet er voldoende water aanwezig zijn.

Peilvak 2.7: 2 agrariërs willen een extra watergang voor extra berging. Deze watergang is gewenst om makkelijk water aan te voeren in H17646, deze agrariërs willen hier tot op een bepaalde hoogte aan mee werken

8. *Welke locaties in de polder zouden geschikt zijn om te monitoren? (knelpunten, kijken naar de doorspoeling)*

Chloride, peilstijgingen en regenmeters zijn interessant. Chloride is interessant in peilvak 2.6 en 2.2.

Overig:

De inlaat en stuw bij de Hiterse kade zou geautomatiseerd moeten worden.

*Natuurgebieden:*

Natuurgebied de Domkreek wordt gestuurd door Staatsbosbeheer.

Natuurgebied het Groote Gat wordt gestuurd door het waterschap

**c. Question email Frijters Management polder (25-03-2021)**

*Over reguliere sturing:*

*Stuwen:*

1. Hoe ziet de reguliere sturing eruit voor de stuwen, is dit op basis van bovenstroomse sturing, benedenstroomse sturing? Worden alle stuwen op dezelfde manier gestuurd, of zit hier verschil in?

De reguliere sturing van stuwen gebeurt bovenstrooms mits er op dat moment benedenstrooms geen hoog peil is (bv 10 cm boven benedenstrooms peil) als dat wel is dan word de stuw omhoog gestuurd.

2. Hoe snel reageert een stuw op peilstijging, is er een bepaalde dode bandbreedte waarbij een stuw niets doet? Hoeveel moet een stuw afwijken van zijn streefpeil om te gaan bewegen? Varieert dit nog over tijd of in bepaalde situaties en wil je dit in bepaalde scenario's aanpassen?

Er is inderdaad een dode band (oude systeem 3 cm nieuwe systeem is dit vrij instelbaar) een aantal stuwen staan nu op dode band plus en min 2 cm zie bijlage 1

*Inlaten:*

3. Hoe ziet de reguliere sturing eruit voor de inlaten? Is dit op basis van bovenstroomse of benedenstroomse sturing? Wordt er alleen gekeken naar het waterpeil bij de inlaat of wordt er ook gekeken verder in de polder?

De automatische inlaat kijk nu zelf naar het peil in de polder bij het object zelf en naar het buitenwater (mits deze opnemer aanwezig is) als dit te hoog of laag wordt stopt ook de inlaat. De gebiedsbeheerder en peilbeheerder kijken naar de watervraag verder in de polder en sturen zondig bij door de inlaat verder open te sturen.

4. Bij inlaat Nieuw-Beijerland is een chloride meter aanwezig, wordt er bij het inlaten van water naar het chloride gehalte gekeken, zo ja wat zijn hier de grenswaardes tot waarbij water wordt ingelaten?

De melding van de chloride meting komt binnen bij de wachtdienst en deze meld als het gehalte boven de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$

5. Klopt het inlaten Goudswaard en Hiterse Kade heeft meest worden gebruikt, en inlaat Brakelvoer (door verzuilt zand) en Nieuw-Beijerland het minst. Wat is hiervoor de belangrijkste reden?

Hiterse Kade en Nieuw Beijerland en Piershil worden het meest beruikt, deze laten in op een verhoogd gebied, Brakelvoer wordt gebruikt bij langere droge periode. Goudswaard staat meestal heel de zomer een klein beetje open voor de verversing.

*Gemaal:*

6. Klopt het dat het gemaal aan of uit wordt gezet aan de hand van het waterpeil bovenstrooms? Komt het aan- en afslagpeil precies overeen met het peilbesluit, of gebeurt dit al eerder?

Het gemaal regelt benedenstrooms. Aanslagpeil dag -1.95 NAP nacht -1.99 NAP afslagpeil dag - 2.05 Nap en nacht -2.09 NAP

7. Ik hoorde dat er s 'nachts vismigratie plaatsvindt voor glasaal. Om het gemaal visspasseerbaar te maken moet het gemaal uit staan. Wordt hier tijdens reguliere omstandigheden rekening mee gehouden door het gemaal uit te zetten, zo ja in welke periode gebeurt dit? En, zijn er nog aanvullende redenen om een gemaal wel of niet aan te zetten?

Word op dit moment nog geen rekening mee gehouden.

*Extreme neerslag:*

8. Bij hoeveel mm peilstijging en/of mm neerslag wordt er gesproken van extreme neerslag?

Dit is afhankelijk van de tijd van het jaar of het al nat of droog is bv in de zomer na een lange droge periode is 30 mm geen extreme neerslag maar in een natte periode kan dit te veel zijn. Bij een peilstijging van meer als 15 cm bij het gemaal wordt de tweede pomp (diesel pomp) handmatig gestart.

9. Wat is op dit moment de strategie om de grote hoeveelheid water te verwerken? Wat is de rol van het gemaal, inlaten, en stuwen? Beheer je de stuwen nog op een specifieke manier? Zet je instellingen in de TA nog tijdelijk anders?

Inlaten sluiten, peil verlagen bij gemaal en dan monitoren wat de peilen bij de stuwen doen dit kan verschillen bij stevige wind.

*Droogte:*

10. Klopt het dat er van droogte wordt gesproken als er geen water meer kan worden ingelaten, zo niet; wanneer dan wel?

Droogte is na mij inzicht dat de grond uitgezakt is en dat al het water vanaf de rivier ingelaten moet worden om de watergangen op peil te houden.

11. Over welke tijdsperiode vormt het niet meer kunnen inlaten van zoet water een probleem, en bij hoeveel centimeter peildaling is er in de polder sprake van droogte? (Ligt dit aan de beheermarges, verschilt dit per landgebruik?)

In het groeiseizoen hebben de gewassen voldoende vocht nodig. Bomen vragen ook veel vocht als deze in het blad staan.

12. Zijn er verschillen over deze gevoeligheid binnen de Eendracht? Zijn er bepaalde peilgebieden waar sneller problemen optreden met boeren of qua ecologie? Aandachtspunten?

Dit vind ik lastig te zeggen mede omdat dit afhankelijk is van het teelt plan van de boeren en de structuur van de grond. Op dit moment zijn er ook boeren die peilgestuurde drainage aanleggen. [www.hwodka.nl](http://www.hwodka.nl)

#### **d. Question email Frijters setting assets (09-06-2021)**

Antwoorden die ik via de mail heb gekregen.

De hoogtes die ik weet staan hieronder (deze zijn pas ingemeten voor het NBWS), die anderen zijn bij mij niet bekend.

12739ST min -2.05 max -1.26  
10962ST min -2.03 max -1.39  
16329ST min -2.16 max -1.24  
16328ST min -1.92 max -1.22  
03195ST min -2.53 max -1.28

De afsluiter 44797SE kan de duiker geheel afsluiten.

P-H02.011 = -1,75 VP (in GIS, is dit verbonden met duikers)

*In de praktijk zitten daar wel stapelstuwjes*

P-H02.010 = flexibel peil -1,20 tot -1,50 m NAP (in GIS, is dit verbonden met duikers).

*In de tussensloten zitten bolingen.*

## 8. Appendix 2 Specifications Inlets and Pumping station “De Eendragt”

### 1. Inlets

Table 8.1 shows the specifications of the inlets.

Table 8.1 Specifications inlets

Inlets		
Automated	Goudswaard	Is slightly opened during the summer to flush the system (Frijters, personal communication, 25 March 2021).
	Nieuw-Beijerland	Most used. (consists of a EVG meter, a notification is given at a value above 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Frijters, personal communication, 25 March 2021).
Non-automated	Piershil	Most used.
	Brakelsveer	Hardly used due to the inlet of contaminated sand entering the polder, is only used during a prolonged drought.
	Den Hitsert	Most used.
Management Inlets	The inlet of water is dependent on the height of the river levels. An automated inlet looks at the nearby water level in the polder and to the water level in the river (this applies only if a measuring device is available) if this is too low or too high, then no more water is let in. The water level manager controls the inlet by looking at the water demand in the polder, if needed the inlet is opened further (Frijters, personal communication, 25 March 2021).	

### 2. Pumping station the Eendragt.

Table 8.2 shows the specification of pumping station the Eendragt. This information is obtained during an interview with Hamels & Huybens (March 17, 2021). Additionally, information is given regarding small pumps that are present in the Eendragt polder.

Table 8.2 Specifications pumping station “De Eendragt”.

Current state pumping station De Eendragt	
Electrical pump	On/off pump 350 m <sup>3</sup> /min Turned on automatically To prevent the polder from being emptied, during dry periods pump may be shifted on 1.5-2 hours, corresponds to 31500 m <sup>3</sup> /day and 22 m <sup>3</sup> /min
Diesel pump	On/off pump 350 m <sup>3</sup> /min Turned on manually at a water level rise of more than 15 centimetre.
Pumping station De Eendragt after renovation 2023	
Electrical pump	Frequency converter Between 100 m <sup>3</sup> /min and 400 m <sup>3</sup> /min
Electrical pump	On/off pump (if costs of low enough this pump also gets a frequency converter) 350 m <sup>3</sup> /min
Small pumps	
The Eendragt polder consists of 10 small pumps. 5 pumps are maintained by WSHD. The discharge of the small pumps (circa 6 -7 m <sup>3</sup> /hour) is however neglectable (Maandag & De Ruiter, <i>Optimalisering doorspoelen De Eendragt</i> , 2018).	

The renovation plans and the corresponding pumping capacity of pumping station De Eendragt will be described. Lastly, there is looked at sustainability.

### 3. Renovation plans and corresponding pumping capacity

Pumping station De Eendragt consists of one electrical pump and one diesel pump, each pump can only be switched on or off with a fixed discharge of 350 m<sup>3</sup>/min, together 700 m<sup>3</sup>/min (Maandag & De Ruiter, Optimaliseren doorspoelen De Eendragt, 2018). The settings of the pumping station are determined by upstream control (Frijters, personal communication, 25 March 2021), Figure 8.1 shows an overview of the start and stop level.

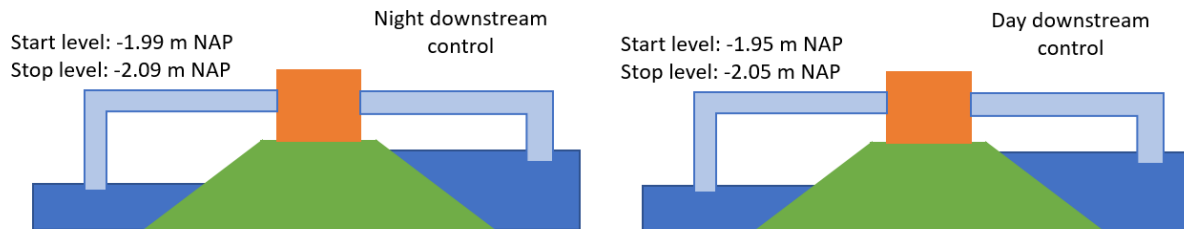


Figure 8.1 The settings of the pumping station are determined by downstream control. During the night it has a start level at -1.99 m NAP and a stop level at -2.09 m NAP. During the day it has a start level at -1.95 m NAP and a stop level at -2.05 m NAP.

In an interview with Hybens and Hamels, it was told that in 2023 pumping station De Eendragt will be renovated (personal communication, 17 March 2021). It was explained that it is not possible to construct an extra small pump that has a constant flushing capacity of 40 m<sup>3</sup>/min (constant flushing capacity will be explained in par 3.1.3.3.), there is not enough space available to construct a new pressure pipeline around the pumping station. Instead, the interviewers explained that the renovation consists of the replacement of the diesel engine by an electrical one. This pump will stay an "on and off" pump. On the already electrical pump, a frequency converter will be installed, by doing this the rotational frequency will be adjustable. They estimated that this will give a new minimal pumping capacity of 100 m<sup>3</sup>/min and a maximum capacity of 400 m<sup>3</sup>/min. If the cost of an extra frequency converter is low enough compared to the total renovation costs, it may also be decided to replace the on and-off pump with a frequency converter. The negotiations are still ongoing, details must therefore still be determined.

The most appropriate discharge of the pumping station is determined by the water level nearby the pumping station. In the current situation, the electrical pump goes on at a fixed discharge of 350 m<sup>3</sup>/min. They explained that if the water level does not drop enough in a certain time, the water level manager gets a signal to turn on the second diesel pump. The water level manager indicated that this will be at a water level rise of more than 15 centimetres (Frijters, personal communication, 25 March 2021). During dry periods the pump is shifted on 1.5-2 hours per day, the pump may no longer be switched on to prevent the polder from being emptied (Kuipers & De Ruiter, Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit, 2021). This means that on average 31,500 m<sup>3</sup> per day is pumped out (1.5 hours = 90 minutes, 90 minutes \* 350 m<sup>3</sup>/min = 31,500 m<sup>3</sup>), this is converted to 22 m<sup>3</sup>/min ( $\frac{31500 \text{ m}^3}{24 \text{ hours}} = \frac{1313 \text{ m}^3}{1 \text{ hour}} = \frac{22 \text{ m}^3}{1 \text{ minutes}}$ ).

Hybens and Hamels explained that this will change after the renovation. The capacity of the pumping station can be changed to smaller time steps of circa 15 to 30 minutes. In this situation, the pump will be turned on at a discharge of 100 m<sup>3</sup>/min. The engine will be set to another acceleration based on the fluctuation of the water level. When the capacity is too low, the second pump will be activated at a constant rate of 350 m<sup>3</sup>/min (Hybens & Hamels, personal communication, 17 March 2021). In the future, it is intended that the DSS will have an advisory role based on calculations that are made beforehand.

## 9. Appendix 3 Interview with Hamels & Huybens regarding pumping station De Eendragt (17-03-2021)

### 1. Wat is de functie van Hamels en Huybens?

Planvormer, Regie en Assetmanagement. Schrijven van voorkeursbeslissingen. Kijken naar oplossingen en knelpunten. We hebben contact met verschillende mensen binnen de organisatie, en vatten de informatie samen in plannen.

### 2. Waarom is het elektrische gemaal in het verleden gedimensioneerd op een vast debiet van 350 m<sup>3</sup>/min?

**Hamels:** Het zijn 2 pompen met 350 m<sup>3</sup>/min, totaal is het 700 m<sup>3</sup>/min. Het is afhankelijk van de oppervlakte die het moet bemalen in de polder de Eendragt. Dit wordt vermenigvuldigd met het geldende afvoer debiet. Vroeger gold er een afvoer debiet van 1.44 l/s/ha. Nu gaan we naar 2 l/s/ha.

**Huybens:** De Ruiters had het over 0.4 l/s/ha.

**Hamels:** Heel vroeger was het alleen maar mogelijk om zo'n polder te bemalen met een dieselmotor. Bij de vorige revisie van het gebouw kwam de elektra op. Dan heb je het over de jaren 40-50. Toen is ervoor gekozen de helft elektrisch te maken en de andere helft nog te voorzien van dieselmotoren. Diesel gaf toch zekerheid, het kan altijd op locatie draaien. Er moet wel iemand naar toe om de dieselmotor te bedienen. Het geeft de nodige CO<sub>2</sub> uitstoot, heel veel ondergrondse opslag van de dieseltanks. In de loop der jaren zijn er andere inzichten gekomen dat het beter was om een elektra motor te plaatsen.

**Ik:** Want hij kan niet versteld worden, het is nu maar op één toer draaien. 350 m<sup>3</sup>/min. Maar hij kan bijvoorbeeld niet op 150 m<sup>3</sup>/min.

**Hamels:** Nee, dat was toen niet. De huidige installatie is volgens mij in de jaren 80 nog een keer gereviseerd. Toen bouwden ze dat nog niet.

### 3. Naast de elektrische pomp is er ook een diesel pomp, dit zorgt voor een totale capaciteit van (2 keer 350 m<sup>3</sup>/min) 700 m<sup>3</sup>/min. De benodigde capaciteit bij 14 mm/dag is 590 m<sup>3</sup>/min is dit toeval of is dit met een reden? Was er bedacht dat er extra capaciteit moest zijn voor die pomp?

<i>Benodigde capaciteit bij 14 mm/dag</i> 6078 ha = 60780000 m <sup>2</sup> 60780000 m <sup>2</sup> * 0.014 m = 8500920 m <sup>3</sup> / dag 8500920 m <sup>3</sup> / dag / (24*60) = 590 m <sup>3</sup> /min	<i>Benodigde capaciteit bij 17.5 mm/dag</i> 6078 ha = 60780000 m <sup>2</sup> 60780000 m <sup>2</sup> * 0.0175 m = 1063650 m <sup>3</sup> / dag 1063650 m <sup>3</sup> / dag / (24*60) = 739 m <sup>3</sup> /min
--	---

**Hamels:** Die 1.44 l/s/ha komt van die 14 mm per dag vandaan.

**Huybens:** De pomp moet wel minimaal kunnen verpompen wat je moet afvoeren. Voor de veiligheid zit je liever wel wat hoger. Het zal waarschijnlijk een standaardmaat geweest zijn die 350 m<sup>3</sup>/min.

### 4. Wanneer wordt het gemaal gerenoveerd en zo ja tussen welke marges ligt het nieuwe debiet en wat is de levensduur?

**Hamels:** In ieder geval die 700 m<sup>3</sup>/min, plus wat extra. Het is de bedoeling om een frequentie gestuurde elektromotor te plaatsen, waar voorheen de dieselmotor stond.



**Huybens:** Het voorkeursbesluit schrijven wij voor de doorspoeling, daar zijn we aan het kijken welke maatregelen genomen moeten worden om meer water het gebied in te kunnen laten. Maar het water moet ook op een goede manier er weer uitgepompt kunnen worden. Dat extra waar Maurice het over heeft is eigenlijk het stukje extra water wat dan ingelaten wordt. Harold heeft berekend dat dat iets van 30 m<sup>3</sup> zal zijn. Dat moet die pomp meer gaan doen. Maar omdat het een aan en uit pomp is, wordt er in één keer 350 m<sup>3</sup>/min uitgemaakt. Daarna moet de watergang weer vollopen. Je krijgt hierdoor een enorme zaagtand in je peil te zien. Dat is niet zo goed voor de waterkwaliteit, dat moeten we proberen te verminderen. Het liefste zou je dan een extra doorspoelpomp in je gemaal plaatsen, omdat je daarmee naadloos kan aansluiten op wat je inlaat. Maar dat is hier niet mogelijk, omdat de ruimte rondom het gemaal vrij beperkt is, en er een hele nieuwe persleiding voor moet worden aangelegd. Dus nu zijn we aan het kijken of we die aan en uit pomp een andere motor kunnen geven, zodat die toeren regelbaar wordt voor een deel.

**Ik:** Oke, dus daar wordt wel over nagedacht dat je een minder hoog debiet kan doorspoelen.

**Huybens:** Ja, dat je meer kan variëren in het debiet dat je uitmaakt. Dus aan de ene kant willen we dus minder kunnen uitpompen, maar omdat je die 730 m<sup>3</sup>/min in totaal moet halen, moet die pomp ook een soort van opgevoerd kunnen worden, zodat het juist weer meer uitmaakt als dat echt nodig is. Qua renovatie gaat M. Hamels als het goed is een voorkeursbesluit daarvoor schrijven.

**Ik:** Wanneer zou dat nieuwe gemaal er dan waarschijnlijk komen?

**Hamels:** Het zal geen nieuw gemaal worden. Hij zal alleen gerenoveerd worden. Wanneer deze er komt heeft met onze meerjarenplanning te maken. Dat betekent als je in dit jaar, 2021, zo'n voorkeursbesluit schrijft, deze voor 1 november klaar moet zijn. Het bedrag wat daarvoor nodig is zou dan bekend moeten zijn. Dan kan dat opgevoerd worden in de begroting. Die begroting wordt opgesteld in april of in mei van 2022, waarbij deze dus voor het eerst opgevoerd wordt in 2023, want de begroting is altijd een jaar vooruit.

**Huybens:** Dus dan gaan ze in 2023 starten met de renovatie.

**Ik:** Gaat die dieselmotor weg, of blijft die staan?

**Huybens:** Nee, de pomp zelf blijft en wordt opgeknapt, maar er wordt een andere motor op de pomp gezet.

**Ik:** Dus als ik het goed begrijp kan die andere motor meer variëren in het debiet wat die geeft?

**Huybens:** Ja, die kan dan op andere snelheden draaien. Dus dat is niet aan/uit maar die kan meer variëren, zoals je auto ook een beetje werkt.

**Ik:** Zijn daar ook getallen van wat die variatie dan zal zijn, in variatie in het debiet, een bestandje?

**Huybens:** De verwachting is dat het minimale dat we dan kunnen halen 100 m<sup>3</sup>/min is. Maar dat is een inschatting, want we weten niet precies wat de pomp curve is. En dat we maximaal, dacht ik, 400 m<sup>3</sup>/min kunnen halen.

**Ik:** Dat is dan voor die elektrische pomp denk ik toch?

**Huybens:** Nee de diesel pomp gaat eraf en er komt een nieuwe elektrische erop. Die andere elektrische pomp blijft dan een aan- en uitpomp, want die heb je alleen maar nodig in geval van nood.

**Ik:** Oh, oké dus je hebt straks 2 elektrische pompen. 1 blijft dan gewoon hetzelfde en de andere is verstelbaar.

**Hamels:** Maar hoe dat er precies uit komt te zien is nog niet helder. Als je tegen geringe meerkosten ook een frequentie omvormer voor de tweede elektrische pomp kan plaatsen, kan dit mogelijk worden meegenomen in de renovatie. De technische managers van de afdeling nieuwbouw doen dat meestal wel. Die zetten zo'n aanbesteding op de markt. Als er een aannemer komt die dat makkelijk uit kan voeren, gaan ze daar over praten. Je moet niet vergeten. De renovatie van zo'n gemaal kan wel 1.5 of 2 miljoen euro gaan kosten. Als je dan voor 5 of 10 duizend euro een toerenregeling meteen op je motor kan plaatsen, maakt dat op het grote geheel niet zo heel veel uit. Soms is het voor een aannemer ook makkelijk om 2 dezelfde te leveren, te bestellen en te plaatsen, dan dat ze de huidige moeten aanpassen en weer in dezelfde vorm terug moeten brengen. Dit is de invulling van de details.

**Hamels:** Als je wilt weten hoe dat werkt, zou je bijvoorbeeld contact op kunnen nemen met de mensen die afgelopen jaar betrokken zijn geweest bij de renovatie van gemaal Cromstrijen in de Hoekse Waard. Ligt vlakbij de Eendragt. Die gemalen lijken heel veel op elkaar en zijn ook ongeveer in dezelfde tijd gebouwd en hadden ook ongeveer in dezelfde tijd gerenoveerd moeten worden. In Cromstrijen was er ook een gebiedsplan wat aangepast werd en wat net iets eerder af was dan het gebiedsplan voor de Eendragt. De renovatie is net klaar.

5. Hoe vaak mag je een gemaal aan- en uitzetten m.b.t. onderhoud en energie kosten? (ik kan me voorstellen dat als je het gemaal s 'nachts aanzet dat dat goedkoper is dan dat je dat overdag aanzet)

**Hamels:** Daar zit een grote tegenstelling. Het gebied van de Eendragt en vooral het gebied van Cromstrijen is zo'n gebied waar vanaf de rivier de vis het gebied in kan trekken. Die gemalen zijn ook vispasseerbaar. In een bepaalde periode van het jaar heb je veel glasaal, de kleine palinkjes. Die liggen dan voor het gemaal aan de kant van de rivier en willen door dat gemaal de polder in. Dat kan alleen als dat gemaal uit staat, dat is veelal 's avonds en s 'nachts, tegen schemer en in het donker. Dat is precies de tijd van de goedkope stroom. Die glasaal zwemt tegen de stroming in. Vanaf zee komen die de rivieren op om groter te worden in die kleine systeempjes, beekjes die je verder stroomopwaarts hebt, maar ook de polder die we hier hebben. Als ze dan wat groter zijn zou het mooi zijn als ze met dat gemaal mee naar buiten stromen, zodat als ze paairijp zijn weer naar zee toe kunnen.

**Ik:** Als die vissen met zo'n gemaal naar buiten gaan, ik kan mij voorstellen dat dat met een harde stroming gaat met de draaischroeven.

**Hamels:** Ja dat klopt, dat is de hele kwestie over het vispasseerbaar maken van zo'n gemaal. Daar moet rekening mee gehouden worden, want er komt steeds meer vis vanuit de rivier die naar binnen wil, en als ze groter zijn geworden willen ze weer via het gemaal naar buiten. Als je hele kleine waiertjes hebt die heel snel ronddraaien, heb je een soort gehaktmolen. Vandaar dat deze gemalen ideaal zijn, want ze zijn best groot. Iedere schoep van de pomp is ongeveer een meter. Die hebben een bepaalde vorm, dat ze een hele schep met water in die schoep meenemen. Hoe groter die schep met water, des te makkelijker dat vis mee naar buiten gedraaid wordt en dat ze ook heel blijven. Natuurlijk hebben ze wel een beetje last van die wervelingen en dat ze in die buizen terecht komen, maar ze hebben de meeste last als ze zo'n klap van die schoep krijgen. Hoe groter de schoep en hoe langzamer de pomp draait, des te groter de kans is dat de vis die daar zit onbeschadigd naar buiten gedraaid wordt.

**Ik:** Hoe moet ik me dat voorstellen, als dat gemaal uit staat, hoe gaat die vis er dan doorheen?

**Hamels:** Ja, dan staan die schoepen stil en is het eigenlijk gewoon een grote opening. Dan kunnen ze er gewoon doorheen zwemmen. Er zitten dan terugslag kleppen aan de buitenkant. Dat zijn schotten die dicht kunnen als je niet wil dat er iets van buiten naar binnen gaat. Of als het aan de buitenkant te

hoog water is dan doen ze die kleppen dicht. Dan kan er geen vis in en er kan geen water in, dan staat alles stil. Op het moment dat er dus kleine visjes, kleine glasaal, aan de kant van de rivier zitten zouden ze die terugslagkleppen open moeten gooien. Dan kunnen ze de polder in zwemmen. Die vissen worden vaak vergeten, en dat is dan ook het stukje wat we in het kader van duurzaamheid mee gaan nemen. We gaan kijken wat we bouwen welke materialen beter zijn, qua energie gebruik, maar ook voor het ecosysteem en de ecologie, flora en fauna. Dit valt allemaal onder duurzaamheid.

**Huybens:** Dan heb je ook nog een vraag over het opstarten en het uitzetten. Een gemaal heeft altijd even een opstartmomentje nodig. Die verbruikt redelijk wat energie. Op een gegeven moment is die motor op een bepaald toerental, en dan draait die het efficiënts. Wat ze proberen als ze het gemaal laten draaien, dat ze het dan het meest efficiënte toerental geven, en een tijdje kunnen laten draaien. Het zal niet superlangzaam zijn, het zal ook niet op maximaal vermogen zijn.

**Ik:** Dat opstarten kost veel energie denk ik, gaat het gemaal daar dan ook sneller van kapot? Dat als je hem heel vaak aan en uitzet, dat er dan vaker storingen kunnen komen?

**Hamels:** Ja uiteraard. Het is net als met een auto. Als je daar heel lang mee op de snelweg rijdt, houdt hij het vaak het beste en het langste vol. Heb je er eentje waar je mee door de stad heen moet crossen, aan, uit, optrekken, stoppen, remmen, verbruik je veel meer energie, veel meer brandstof, en het slijt allemaal harder.

**Ik:** Zijn daar ook maatstaven van? Bijvoorbeeld als je het zo vaak aanzet dan is de levensduur 10 jaar en minder vaak 15 jaar.

**Hamels:** Dat is wat lastiger. Dat heeft er vooral mee te maken dat al die gemalen, en vooral de grotere, worden allemaal op maat gemaakt. Er zijn heel weinig gemalen, toevallig dan Cromstrijen en de Eendragt, die op elkaar lijken, maar verder hebben we er niet zoveel in het gebied. Al helemaal niet binnen heel Nederland. Ze zijn allemaal weer anders, ze worden allemaal anders gebouwd. Er hoeft maar net ergens een stukje van die pomp een beetje scheef te zitten, of een lager die niet lekker loopt, waardoor er problemen kunnen ontstaan, die je bij de ene pomp wel hebt en bij de andere pomp niet. Het is maatwerk.

**Ik:** Hebben jullie wel zoiets van het is bijvoorbeeld slecht als je het 10 keer per dag aanzet, of 1 keer per dag is voldoende.

**Hamels:** De gemalen draaien natuurlijk vooral om het water op peil te houden, dat is de voornaamste reden. Die peilen kunnen we instellen. We kunnen ze ook zo instellen dat we zeggen, we laten hem niet aanslaan als deze 1 centimeter boven peil is, maar we wachten even totdat het 5, 10, 15 of 20 centimeter boven peil is. Dan laten we hem even heel hard draaien, totdat het water weer wegzakt. Dan draaien we hem ook verder weg, wel 10 of 20 centimeter onder peil, zodat die misschien 5 uur achter elkaar moet draaien. Dan wachten we weer tot dat die weer een groot stuk boven zijn peil is uitgestegen.

**Ik:** Oke, dus daar wordt wel rekening mee gehouden.

**Hamels:** Absoluut. Want als het iedere keer 'uit, aan, uit aan' zet bij iedere centimeter die verschilt, is dat inderdaad heel erg slecht voor je installatie.

**Ik:** Met dat nieuwe doorspoel plan, denk ik dat je veel vaker dat gemaal aan en uit zal moeten zetten, of dat die langer aan is. Is het dan de bedoeling dat die dan een halve dag draait, of heel de dag?

**Huybens:** Hij staat nu geloof ik gemiddeld 1.5 uur per dag aan, om te draaien, en er zal 23 kuub meer uitgemalen moeten worden.

**Hamels:** In 4 uur tijd zal die 1 uur extra moeten draaien. Reken met 25 m<sup>3</sup> per uur wat erbij komt. Als je straks 100 m<sup>3</sup> per minuut kan draaien met de pomp (4 keer 25 m<sup>3</sup> = 100 m<sup>3</sup>). Dan heb je dus 4 uur, en dan zal die dus een uur extra moeten draaien. Opstarten kost veel energie, daarom wil je de pomp op het meest efficiënte toerental laten draaien. Dit kan door het gemaal voor een langere tijd aan te laten. Dit kan alleen worden toegepast in een droog weer situatie, de situatie verandert zodra er neerslag valt.

**Ik:** Dan moet die waarschijnlijk meer gaan draaien.

**Hamels:** Of je moet de inlaten wat meer knijpen. Het BOS-systeem kan zien hoeveel neerslag er gaat vallen, daar sluit je de inlaten op. Dat ga je programmeren.

**Ik:** Ze zeggen dat bij neerslag daar best wel een onzekerheid marge inzit, van hoeveel gaat daar echt vallen. Dat je daar moet gaan kijken, wat is hier slim in.

**Hamels:** Ja, dat klopt. Dat is ook de reden waarom het ook zolang geduurd heeft voordat er zo'n BOS-systeem kwam, en dat dat BOS-systeem er nog steeds niet goed op aangesloten is. Die neerslagvoorspellingen blijven lastig. Eén ding die je echt niet wilt, is dat je je gemaal wat harder laat draaien, omdat je denkt dat het heel hard gaat regenen, en dat die regen niet valt. Dan draai je onder peil. Als die te laag staat kunnen de oevers instorten, en kunnen er sloten droog komen te staan, dan kunnen de landbouw percelen niet beregend worden. Dat is bijna net zo erg als dat je zegt, we laten het gemaal niet draaien want we denken dat er toch geen neerslag valt, en dan blijkt dat er toch 20 millimeter is gevallen. Dan zit je ook verkeerd.

**Ik:** Dus je moet daar een beetje slimme afweging in maken.

**Hamels:** Ja, misschien moeten we nog een paar jaar wachten totdat de neerslag modellen nog wat betrouwbaarder worden. Dat we niet zitten met vakjes van 100 bij 100 meter, maar met vakjes van 25 bij 25 meter, of bij 10 bij 10 meter. Dan zijn we misschien 5 of 10 jaar verder. Als dan de modellen wat nauwkeuriger zijn, heb je kans dat je het wel aankan om automatisch je systeem aan te laten gaan als je denkt dat er neerslag valt.

**Ik:** Bij een ander waterschap maakte ze wel al gebruik van neerslag metingen. Ze zeiden dat ze gebruik maken van een soort risico, van wat de kans is dat bepaalde neerslag er komt. Dat je gaat kijken wat is de maximale, minimale, en de gemiddelde waterstand. Dat je daarin ziet wat de onzekerheid daarin is.

**Hamels:** Dat doen wij ook al. Ook wij hebben een abonnement bij het KNMI, waarbij neerslag verwachtingen en neerslag voorspellingen per gebied zijn ingesteld met een bepaald risicoprofiel. Maar het is nog niet zo dat dat dus automatisch gekoppeld is aan het aan- of uitzetten van het gemaal. Dat zou je BOS-systeem moeten gaan doen. Wanneer durf je dat aan.

**Huybens:** Waar je ook rekening mee moet houden dat we voor het inlaten van water ook te maken hebben met de rivierstand. Die bepaalt hoeveel water er daadwerkelijk binnen komt. Dat is nog een factor die je mee moet nemen. Chloride is ook wel een dingetje. We willen ook weer niet heel erg veel zout waterinlaten. Dat zou ook nog wel een beperkende factor kunnen zijn.

6. Hoe wordt het meest geschikte debiet van het gemaal bepaald? (is dit een vooraf vast ingesteld debiet of wordt het debiet bepaald op basis van het waterpeil rondom het gemaal)

**Hamels:** Het wordt bepaald door de waterpeilen rondom het gemaal. In de huidige situatie is dat 1 pomp aan, of 2 pompen aan.

**Huybens:** Bedoel je met je vraag, hoeveel je moet kunnen verpompen?

Ik: Ja, dat er een bepaalde peilstijging is, dan wil je dat water weg hebben. Dan gaat die aan, nu is dat denk ik die 350 m<sup>3</sup>/min.

Hamels: Dan zit er een regeling in, in de huidige automatisering. Als die bijvoorbeeld een uur lang met 350 m<sup>3</sup>/min draait, dus met 1 pomp, en hij ziet dat de waterstand niet lager wordt, dan wordt de 2<sup>de</sup> pomp aangezet.

Huybens: Dit gaat niet automatisch.

Hamels: Zij krijgen dan een seintje dat ze een handbediende pomp aan moeten zetten.

Huybens: Dan laten ze de handbediende pomp standaard draaien, en gaat die elektrische motor doen wat Maurice net zei, dus het peil controleren en zichzelf daarop aan en uit schakelen. Maar de capaciteit van het gemaal hangt af van hoeveel regen er valt, en hoeveel water erdoor het gebied heen gaat.

Hamels: Ja, dat moet de nieuwe situatie worden. Dus dat wordt wel een heel stuk geavanceerder.

Ik: Dus dat doet die dan op meerdere punten dat die dat debiet bepaalt.

Hamels: Je moet het zo zien. De nieuwe pompen krijgen een frequentie omvormer en toerenregeling. Die gaat in eerste instantie, als je peilstijging voldoende is, op zijn eerste niveau draaien. Dat die die 100 m<sup>3</sup> per minuut er uit gaat draaien en ziet binnen een kwartier, of binnen een half uur stijgt mijn waterstand nog steeds, hij zakt niet. Dan gaat hij naar zijn volgende niveau.

Ik: Oke, dus net als met een auto, dat die steeds in een hogere versnelling komt.

Hamels: Ja, precies. Totdat die weer aan zijn max zit, dat één pomp 400 m<sup>3</sup> per minuut draait, en het waterpeil nog steeds niet zakt en zegt, ik heb nog een tweede pomp, die gaat aan.

Huybens: Als jij dat BOS-systeem straks helemaal perfect ingericht hebt, kan die dat van tevoren zelf automatisch berekenen en zet die de pomp meteen op het juiste toerental.

Hamels: Het zou mooi zijn als we dat binnen nu en 10 jaar voor elkaar krijgen. Bij de Maeslantkering zit daar ook zo'n systeem op; een automatisch systeem, die dicht gaat als de waterstand te hoog wordt op zee. Het zou mooi zijn als we dat hier bij het waterschap voor elkaar krijgen. Dat er een bui aan komt van 20 centimeter, dat het gemaal al een uur van tevoren automatisch aan zal springen, en dat we er dan ook vanuit kunnen gaan dat die regen valt. Niet dat het dan 16 wordt of toch 25.

Huybens: Of dat je de inlaten in zo'n geval dan knijpt.

7. Er is gekozen voor fase 2 doorspoelen. Hoe groot gedeelte van de tijd moet het gemaal aanstaan, zijn er verschillen met droogte, extreme neerslag en reguliere omstandigheden?

Extreme neerslag

Huybens: Bij extreme neerslag zullen allebei de pompen echt volle bak aan moeten staan want anders krijgen ze het niet weg.

Hamels: Dan zullen de inlaten echt dicht moeten.

Droogte

Ik: Bij droogte zal die waarschijnlijk helemaal uitstaan.

Huybens: Hij zal nog wel wat uitmalen, ja maar wel heel weinig, en de inlaten zullen zoveel mogelijk opengezet worden.

**Hamels:** Wat het is bij extreme droogte, dan heb je ook vaak dat de waterstanden op de rivier heel laag zijn, dat is vaak in zomerse warme periodes. Dan heb je al bijna geen water op de rivier om in te laten, dus kan kun je je schuiven nog wel zover omhoogtrekken maar als er geen water van de rivier in komt krijg je dus nooit het debiet wat je wilt. Dat is dan nog wel een beetje afhankelijk van het getij. Je hebt natuurlijk 8 uur op, 16 uur afgaand tij. Als je precies die piek weet te vinden waarop het toch nog hoog is, zou je op dat moment dus nog meer water kunnen inlaten.

**Huybens:** Je hebt ook natuurlijk te maken met de toenemende watervraag van de agrariërs waarop je ook moet anticiperen.

**Hamels:** Beregening noemen ze dat. Daar hebben ze ook beregeningsinstallaties voor. Alle beregeningsinstallaties groter dan 100 kuub per uur zijn vergunningplichting.

**Huybens:** Dan moeten ze ook 24 van tevoren aangeven dat ze dat aan gaan zetten zodat we daar met het waterpeil rekening mee kunnen houden.

### *Extreme neerslag*

8. In de huidige situatie moet het gemaal 14 mm per dag afvoeren, in een toekomstige situatie is dit 17.5 mm per dag (2.0 l/s/ha). Tegen welke maximale neerslag bui (in mm/dag) wordt het nieuwe gemaal gedimensioneerd?

**Ik:** Dat er bijvoorbeeld wat meer berging is in het gebied, dat het wat robuuster is.

**Huybens:** Volgens mij wordt die robuustheid vooral gezocht in de capaciteit van het gemaal, dat die dat aan kan. Volgens mij hebben ze niet echt waterberging in het gebied zitten.

**Hamels:** Het is vooral een landbouw polder, en alles wat je dan aan waterberging zou willen creëren gaat ten koste van je landbouwgrond. Dat is kostbaar.

**Ik:** Dus dat is eigenlijk niet echt een optie.

**Huybens:** Als je geld hebt om een stukje perceel op te kopen wel. Als er gezegd wordt er is een gigantische watervraag en we moeten het gewoon doen kan er soms wat meer geregeld worden. Voorlopig wordt daar nog niet echt naar gekeken en ligt de focus wat dat betreft op andere gebieden.

9. Zal het beter op elkaar afstemmen van de kunstwerken in het gebied in combinatie met afvoer capaciteit van het gemaal voldoende zijn om in de toekomst klimaatbestendig te zijn, of zal er bijvoorbeeld ook naar extra berging mogelijkheden moeten worden gekeken?

**Huybens:** In dit gebied hebben ze vooral problemen met droogte omdat ze dat water voor die boeren moeten regelen. K. Bok is voor een stuk je van de polder bezig om te kijken hoe die daar meer water kan krijgen, omdat die boeren daar niet voldoende kunnen beregenen. Volgens mij speelt dat hiervoor al. Wat Maurice vertelde over de rivierstanden maakt zeker op het moment van droogte het lastig om voldoende water naar binnen te krijgen.

**Ik:** Oke, dus niet echt harde buien die hier een probleem vormen, maar vooral droogte.

**Hamels:** Dat is het voordeel van ons gebied. Wij zitten een beetje in het afvoerputje van Nederland. Ook in het afvoergebied van de Rijn en de Maas. Al het water dat uit de bergen komt en via die rivieren naar zee toe stroomt verzamelt zich nog net een beetje in ons gebied. Dus als het extreem droog is hebben wij 9 van de 10 keer toch nog wel water genoeg op de rivieren. Maar dat hebben we puur te danken aan de ligging van ons gebied.

**Huybens:** We hebben wel te maken met die oprukkende zouttong.



**Hamels:** Op het moment dat er heel weinig afvoer is vanaf die rivieren, zie je dat het zeewater verder landinwaarts kan trekken. Zeker nu de Haringvlietsluizen op een kier gezet worden kun je verzilting hebben via het Haringvliet. Dan kan het bij het Haringvliet het spui optrekken; daar grenzen alle inlaten van dit gebied aan. Niet allemaal, Den Hitsert niet. Wel Goudswaard, Nieuw Beijerland, Brakelsveer. Die kunnen daar dus allemaal last van hebben. Aan de bovenkant kan er zout intrek vanaf de Nieuwe Waterweg komen. Dat noemen ze dan de achterwaartse verzilting. Dat is wel een aantal keren gebeurd in de afgelopen jaren als het zo droog is. Dan moeten gewoon je inlaten dicht. Op het moment dat er een te hoog chloride gehalte is in het water wat je je gebied in gaat brengen, krijg je echt problemen met alle landbouwgewassen die er staan. Als er te zout water op een akkerbouw perceel terecht komt, kan de hele oogst weg zijn. We hebben ook nog wat fruittelers zitten. Als je fruit gaat voorzien van te zout water, krijg je op je appeltjes zwarte spikkels. Dan zijn ze niet meer te verkopen en krijgen we als waterschap een schadeclaim.

**Ik:** Ik denk ook dat je bepaalde schade helemaal niet kan voorkomen als waterschap. Zit hier niet een bepaalde grens zin, dat het uit de macht van het waterschap is.

**Hamels:** Dat is het juridische spel wat altijd gespeeld wordt. Alle agrariërs in het gebied zullen zeggen dat het waterschap het niet goed gedaan heeft. Onze juristen zullen dan gaan vragen bij de buitendienst medewerkers “heb je op tijd ingegrepen, zijn alle inlaten op tijd dichtgezet en heb je zo lang mogelijk doorgespoeld met zoet water?”. En hoe toon je dat dan aan. Er worden soms flinke schadeclaims gevraagd en soms ook uitgekeerd.

**Huybens:** Er zijn toch ook normen over hoe vaak land mag overstromen. Eens in de 10 jaar in stedelijk gebied, eens in de 100 jaar, dat soort dingen. De praktijk is nu zoals Maurice vertelde, aan de hand van hoe het geregend heeft, wat voor type bui het was. Als je systeem het niet aankon, en het is bijvoorbeeld, het mag 1 keer in de 100 jaar overstromen en het was een 10 bui, dan gaat het niet helemaal goed.

10. Stel in het weerbericht wordt aangegeven dat er veel neerslag wordt verwacht. Is het in deze situatie slim om vooral voor te bemalen met een hoger debiet zodat er meer berging is in het gebied, of is het slim om het debiet pas hoger in te stellen als de bui er daadwerkelijk is?

**Hamels:** Je moet echt heel zeker weten dat die bui valt, anders is het echt heel fout om te gaan voormalen. Dat weet je pas echt zeker als je er echt in zit.

**Huybens:** Je moet wel zeker weten dat je de bui weg kan malen. Als je dat niet kan moet je wel gaan voor bemalen.

**Hamels:** Klopt, en dat doen we als er een voorspelling is. Als de verwachting volgens mij 24 uur van tevoren van meer dan 20 mm is, zou je de vraag kunnen stellen, moeten we voor bemalen. Nogmaals dat is voorlopig nog niet geautomatiseerd. Daar moet echt iemand heel bewust voor op de knop drukken. Er zijn situaties geweest dat bijvoorbeeld de peilbeheerder het niet aandurfde, dat hij naar zijn teamleider ging en die beslissing niet durfde te nemen, zijn afdelingshoofd ook niet. Dat uiteindelijk de directeur zei dat gebied te bemalen, en dat die bui toch niet viel. Toen hadden de mannen buiten nog 100 uur nodig om al het water weer op peil te brengen.

## Droogte

11. Bij het plan doorspoelen moet het gemaal altijd aanstaan. Tijdens een periode van droogte kan het voorkomen dat er niet genoeg zoet inlaat water is. Is het in deze situatie niet beter om het gemaal uit te zetten, hoe wordt hierin een afweging gemaakt?

**Huybens:** Het gemaal staat dus niet altijd aan.

## Parameters

12. In de huidige situatie slaat het gemaal aan op basis van het waterpeil naast het gemaal, wordt er ook over nagedacht om het gemaal aan te slaan aan de hand van te hoge waterpeilen op andere locaties in het gebied?

**Huybens:** Je zou misschien het kunnen doen op basis van het water dat je inlaat. Dat je dat ook mee laat wegen. Verder misschien het KWR-lichaam wat er inligt. Daar wil je zo min mogelijk peilverschillen hebben. Ik zou zelf niet weten wat een extra meting daar zal toevoegen.

13. Is het een mogelijkheid om naast waterpeilen ook naar andere parameters te kijken om het gemaal te laten aanslaan zoals bijvoorbeeld te hoge chloride en/of zuurstofgehaltes?

**Huybens:** Chloride hadden we al besproken. Zuurstof, ik denk dat je daar niet zo heel veel mee kan. Wel verblijftijd, vanuit het doorspoelplan is dat wel een hele belangrijke.

14. Wordt er in het waterbeheer al gebruik gemaakt van signaal/grens waarden om aan te geven dat het waterpeil te hoog of te laag is? Hoe wordt er hier tegenaan gekeken?

**Hamels:** Officieel zijn er marges binnen het peilbesluit vastgelegd. Die marges zijn plus of min 10 centimeter.

**Ik:** Is het dan slim om daar bijvoorbeeld wat eerder wat voor te doen?

**Hamels:** Wat daar niet bij staat is waar dat die marges moeten gelden. Het peilgebied van de Eendragt is vrij lang en breed uitgerekt. Je zou die marge van die 10 centimeter kunnen zeggen van dat geldt dan in het midden van de polder. Maar dat wil dus zeggen dat je aan het uiteinde van de polder waar het gemaal zit, je dus verder dan die 10 centimeter onderuit moet gaan om het midden op die marge van 10 centimeter te krijgen. Er zijn wel eens situaties, zeker als het wat neerslag gevoeliger is, in de neerslag periodes augustus, september, oktober, dat ze zelf zeggen we kijken naar achter in de polder. Dat daar zelf de marge van 10 centimeter geldt en we de rest van de polder op inrichten. Dan zou je bij je gemaal dus nog verder onderuit kunnen. Dan kun je al heel veel regen opvangen als dat in die periode valt.

**Huybens:** Een aantal waterkwaliteitsparameters zijn misschien wel handig om mee te nemen, ook op die achterliggende gebieden in de polder; nutriënten en zuurstof.

-----

## 10. Appendix 4 Interview with Kuipers regarding water quality (11-03-2021)

1. Onder welke weersomstandigheden kan er worden gesproken van **regulier peilbeheer**, zitten hier variaties in, zijn er verschillen met de verschillende seizoenen?

Er zijn zomer en winterpeilen in de Eendragt, plus 10 centimeter marge, refererend naar het peilbesluit voor de Eendragt, hier staat ook in hoeveel je af kan wijken. Er kan gekeken worden naar de peilindicator. Je hebt te maken met de verschillende seizoenen. De buien zijn hierin opgenomen. Bepaalde peilstijgingen mogen bij een bepaalde bui optreden. Wanneer de bui zwaarder is kan het waterschap niet garanderen dat de peilmarges worden overschreden.

Sommige dingen zijn overmacht. Extreme neerslag situaties zijn juridisch gewaarborgd. Het waterschap heeft dan zijn taak gedaan. Dit valt buiten de wetgeving wat nog redelijk wordt geacht dat het waterschap kan doen.

Inundatie hangt af van de functie en doelstelling van de grond in combinatie welke weersomstandigheden sturend zijn. Natuur heeft geen inundatierisico. Je kunt je afvragen wat je kan definiëren als natuur. Als alternatief voor meer inundatie kan er ook naar meer berging worden gekeken.

2. Hoe ziet de ideale sturing tijdens **regulier waterbeheer** van het watersysteem eruit, kijkend naar de waterkwaliteit?

In de Eendragt polder zijn 2 dingen aan de hand. Als eerste zit er heel veel landbouw. Daardoor heb je veel nutriënten (nitraat en fosfaat) die uitspoelen. Als tweede heb je in het westelijke deel van de Eendragt brakke kwel, dit is zout en er zit veel fosfaat in. Als je niks doet worden de concentraties chloride en nutriënten te hoog. Om dit te voorkomen wil je meer gaan inlaten.

De hoge concentraties zorgen voor een slechte waterkwaliteit. Ten eerste vinden er zout fluctuaties plaats, dit is ongunstig voor veel verschillende dieren. De soorten die nodig zijn voor de KRW-standaarden, vallen hierdoor weg. Ten tweede zorgen de nutriënten voor algenbloei. Dit leidt tot minder doorzicht, waardoor de waterplanten niet goed kunnen groeien.

*Ik: Kan je niet ervoor kiezen om de planten die daar leven te vervangen met planten die beter tegen zout kunnen?*

Voor het KRW moet je een type watergang aangeven. Er zijn allerlei typen watergangen. Die meeste typen watergangen hangen samen met de grote (bijvoorbeeld M1 = sloot, M3 = klein kanaal, M6 = breed kanaal, M20 = diep meer). Voor brakwater heb je maar twee soorten, een M30 en M31. Als je daarvoor kiest moet je het hele jaar rond brak houden.

De boer stelt ook eisen aan de watergang. Nu zie je dat het voornamelijk brak is als het winter is. In de zomer wil de boer geen brak water, dan wordt er extra veel zoet water ingelaten. De inlaat stopt zodra de boer geen water meer nodig heeft voor zijn gewassen of als er al zoveel regen valt dat je geen extra water kan gebruiken. De gemaal capaciteit moet dit aankunnen.

Deze problematiek speelt sterk in Goeree-Overflakkee. In de winter is het water brak en in de zomer wordt het zoet voor de agrariërs. De dieren moet constant switchen. Er zijn maar weinig planten en dieren die tegen seizoenswisselingen in nutriënten kunnen.

Het watersysteem in de polder is onnatuurlijk. Van nature is er meer brak water in de zomer, dan in de winter. In de winter heb je zoete neerslag. In de zomer heb je een hogere verdamping, waardoor er hogere chloride concentraties zijn. In het polder systeem is het net omgekeerd.

### **Waterinlaten:**

Het is de vraag hoe je het inlaatwater door de hele polder kan sturen. Als je alles openzet gaat alles naar het gemaal toe (via een kortsluit route). De haarvaten wil je ook zoet krijgen. Hoe ga je het met de stuw regelen dat het inlaat water gelijkmatig over de hele polder wordt verdeeld.

Het gemaal vormt nu een probleem, puur alleen op peil gestuurd en niet op doorspoeling. Het debiet is te sterk (350 m<sup>3</sup>/min). Het is niet ontworpen om continu door te spoelen. Het is alleen op peil gestuurd en niet op doorspoeling. Er zit een continue regeling op, of hij gaat aan of uit.

Vroeger sloeg het gemaal alleen aan als er te veel neerslag was. Het is nooit ontworpen om continue door te spoelen. Het inlaat water was er zo op ingesteld dat er niet meer ingelaten werd als het op peil was.

#### *Droogte*

Met klimaatscenario's moet ook mee worden genomen dat er als er regen valt het niet meteen wordt uitgemaal en dat er mogelijkheden zijn om het peil wat hoger te houden na een regenbui.

### 3. Onder welke weersomstandigheden kan er worden gesproken dat het watersysteem last heeft van een langere periode van droogte?

Voor het waterschap is droogte een probleem als er geen zoet water meer kan worden ingelaten. Het inlaten van water moet worden gedaan om het zomerpeil te handhaven als het peil gaat uitzakken. Er kunnen twee redenen zijn waarom het water niet meer kan worden ingelaten:

1. De rivierafvoer is te laag
2. Het rivierwater wordt te zout (dit komt het vaakst voor). De zouttong uit de Noordzee gaat heen en weer. Dit heeft te maken met eb en vloed, de hoeveelheid wind en afvoer van de rivier. De ene keer komt de zouttong verder het land in dan de andere keer.

Het water kan worden ingelaten als de EVG meter een waarde aangeeft die aan de chloride norm voldoet. De waarde die hiervoor wordt bepaald is erg belangrijk (300, 500, 1000 mg/l). Dit ligt ook aan het gebied dat erachter ligt. Je kan het zien als een soort sinusfunctie. Bij de daling van het chloride gehalte kan je het water inlaten. Hierdoor kan je een paar uur het zoete water gebruiken. Momenteel zie je vaak dat de hele inlaat wordt gestopt, terwijl er wel zoet water aanwezig is. Dit proces is nog niet geautomatiseerd. Door het te automatiseren kan de inlaat op ieder moment worden opengesteld.

Er wordt ook gebruik gemaakt van een afwegingskader, over wie er als eerste zoet water krijgt (3-traps-strategie). Hier is veel discussie over, dit kan je meenemen in het sturingsysteem. Bij welk chloride gehalte wordt er nog water ingelaten. Wat doe je als er niet meer wordt ingelaten. Dan gaat het waterpeil uitzakken. Waar ligt de grens dat er toch brak water moet worden ingelaten. Bij bebouwing kunnen de palen droog komen te staan. Wat voor beleid kan je hier toepassen tijdens calamiteiten.

Voorbeeld: Droogte in IJsselmonde.

Dit is een stedelijk gebied, het water bij de inlaat was te zout. Maar binnen in het gebied was de waterkwaliteit heel slecht. Het zuurstofgehalte was naar nul, dit zorgt voor botulisme onder vissen (vissterfte) en stankoverlast. Er moet een keuze worden gemaakt tussen of zuurstofrijk water inlaten of geen water inlaten. Geen water inlaten betekent geen toevoer van zuurstof in het watersysteem. Dit kan leiden tot tegengestelde adviezen.

### 4. Hoe ziet de ideale sturing van het watersysteem voor de waterkwaliteit eruit tijdens een langere periode van droogte?

Hoger peil (fase 1).

Je hebt problemen met de waterkwaliteit als het te troebel is of dat er zout pieken zijn. Er is een onnatuurlijk peil, hierdoor heb je een laag waterpeil in de winter. Er zijn te weinig natuurvriendelijke oevers. Door een hoger peil te handhaven kunnen de oevers zich beter ontwikkelen. Deze optie is er niet doorgekomen door weerstand van de bevolking, er was te weinig draagvlak. De boeren stonden er niet achter en de kosten waren veel hoger dan was ingeschat. Voor een hoger peil moesten de duikers worden aangepast. Nu ligt de focus vooral op doorspoeling met het huidige waterpeil.

*Ik: Is er genoeg water om door te spoelen?*

Je kan stoppen met doorspoelen als er te weinig water beschikbaar is, dit is wel goed om mee te nemen, als afweging. Het zoete water wat er nog is moet je vasthouden. Dit zorgt echter wel weer voor een verslechtering van de waterkwaliteit. Je moet onderbouwen wat de voor- en nadelen zijn voor de sturing. De keuze zelf kan later worden vastgesteld in beleid.

De KRW is een verplichting, je kan boetes krijgen van Europa. In 2027 moet overal de waterkwaliteit voldoen. Je hebt clausules om er eronderuit te komen, bijvoorbeeld disproportionele kosten en draagvlak. Een aantal dingen zijn overmacht. Op nutriënten kan je als waterschap niet sturen, dit

ligt aan het landelijke mestbeleid. Je hebt last van historische nalevering, hierdoor kan je tijdelijke doelverlaging aanvragen.

5. Op welk kantelpunt levert een **intense neerslag** bui problemen op voor de waterkwaliteit in watersysteem?

Voor de waterkwaliteit treden er niet veel problemen op, het zorgt voor meer doorspoeling. Echter, in stedelijk gebied heb je als gevolg van intense neerslag last van overstorten. Als het riool te vol loopt en niet alles kan worden afgevoerd, gaat het naar het oppervlaktewater. Dit zorgt voor meer verontreiniging. In de herfst kan je heftige buien hebben. De gewassen op het land kunnen zorgen voor veel uitspoeling. Dit zorgt voor stikstof pieken.

*Ik: Kunnen de boeren er niet voor zorgen dat er minder afspoelt?*

Boeren passen bijvoorbeeld groenbemesting toe. Als ze het land hebben geoogst leggen ze klaver en/of mosterdzaad neer. Het land blijft groen en de mest wordt opgenomen. Dit houdt de stroming van het water tegen omdat de bodem niet meer kaal is.

*Ik: Kan het water niet te snel gaan stromen?*

Grotendeels niet in het gebied. Waar wel zorgen over ontstaan is bij het gemaal. Dit kan ervoor zorgen dat de oevers afkalven en dat waterplanten worden meegesleurd. Een ander nadeel is dat door klimaatverandering de intense buien toenemen, en de watergangen hierop niet voldoende zijn gedimensioneerd. Hiervoor moet je meer gaan schonen. Je moet je onderhoud intensifiëren, het gevolg dat er meer zwaardere buien komen. Dit is een dilemma tussen waterkwaliteit en waterkwantiteit.

6. Hoe ziet de ideale sturing van het watersysteem voor de waterkwaliteit eruit tijdens een intense neerslag bui?

Het water verdelen. In sommige gebieden is het niet erg dat het overstroomt. Sommige natuurgebieden zijn erbij gebaat. Een andere optie is dat je gaat voormalen bij een hele zware bui in de toekomst, kijkend naar radarbeelden. Het waterpeil omlaaghalen, zodat er meer berging is. Risico is dat soms die bui niet komt. Dan kost het heel veel geld om het peil weer op te zetten. De natuur is er niet heel erg blij mee als je heel vaak gaat voormalen, dit zorgt voor veel peil fluctuaties.

7. Voor elk scenario ga ik een gebiedsregeling maken. Aan de hand van welke **parameters** zou je een gebiedsregeling in werking kunnen stellen, en zitten hier verschillen in per scenario? (bijvoorbeeld zuurstof, troebelheid, temperatuur, chloride, chlorofyl, debiet)

**Zuurstof**

Zuurstofmetingen worden al gebruikt voor overstorten. Dit wordt in het stedelijk gebied in Oud-Beijerland al gedaan. Hier wordt continu zuurstof gemeten. Als dit te laag komt wordt er doorgespoeld.

**Chloride**

Deze meting kan je snel gebruiken.

*Ik: Op welke kan je niet sturen?*

Chlorofyl is lastig, omdat je dit niet online kan meten maar in het laboratorium moet doen. Chlorofyl en troebelheid gaan een beetje met elkaar samen. Doorzicht kan je bijvoorbeeld wel continu meten.

**Temperatuur**

Het ligt eraan hoe groot het verschil is binnen de watergang en het poldersysteem. Een hoge temperatuur hoeft niet slecht te zijn, het kan echter wel een indicator zijn voor een lange verblijftijd. Tenzij de temperatuur heel hoog is, boven de 25 graden, is het niet goed voor vissen. Kan wel een indicatie zijn voor een lange verblijftijd. Hier is nog geen onderzoek naar gedaan.

8. Zouden er nog aanvullende continu metingen zijn die beschikbaar zijn, en die we zouden kunnen toepassen om dit slim te sturen? Hebben we hier ervaring mee?

Voor zuurstof is er een project geweest in de Gaatkensplas in Barendrecht. Hier is continu gemeten. Die waren gekoppeld aan een piepjes systeem. Kwam dit boven of onder een bepaalde waarde, dan



kwam er een signaal dat er moest worden ingelaten. Wordt nu niet meer gebruikt omdat er nu continu wordt doorgespoeld.

Een nadeel is dat de meters veel onderhoud vragen (bijvoorbeeld door algen aanslag). De meting nu is helemaal niet gericht op sturing. Over de metingen wordt gerapporteerd. De metingen komen een aantal weken later binnen, dit is veel te laat om op te sturen. Je kan ook op een andere manier monitoren dat je wat meer kan gaan sturen.

Voorbeeld Zwemwater

Zwemwater wordt 1 keer in de 2 weken gemeten. Als dit te hoog is in bacteriën kunnen er nog maatregelen worden genomen, of kan er een waarschuwing worden gegeven. Je kunt kiezen voor een meetsysteem met 'niet online' metingen, maar dat je kiest voor een hogere frequentie.

*Chloride*

Meer data over chloride zal nuttig zijn. Chloride zelf meet je in het laboratorium, maar je kan ook kijken naar de EVG (geleidbaarheid). Deze meting kan je heel snel uitvoeren. In de polder is 1 keer per dag een goede frequentie. Bij de inlaten buiten de polder in de rivier heb je een hogere frequentie nodig. Het beste is om continu te meten omdat dit veel dynamischer is. Je kan de metingen uitvoeren in de hoofdwatgang, maar je kan ook meetpunten kiezen waar je denkt dat het water misschien moeilijk komt. Je kan EVG gebruiken om te onderzoeken welk watertype waar komt.

9. Wat is het verschil tussen de 14 HOP-meetpunten en de 58 HW-meetpunten?  
(HOP-meetpunten = biologische waterkwaliteit via STOWA-methodiek  
58 HW-meetpunten = "quick scan" biologische waterkwaliteit)

**HOP:** fysisch/chemische meetpunten. Deze liggen in de water kleinere waterlichamen (lijnvormige wateren). Je hebt verschillende HOP meetpunten.

- Er wordt 1 keer in de 3 jaar biologisch gemeten (Macrofauna/macrophyten)
- Sommige HOP meetpunten worden elk jaar fysisch/chemisch gemeten en sommige 1 keer in de 3 jaar.

Er is vast en een roulerend meetnet. De jaarlijkse vaste HOP meetpunten zijn het best geschikt voor een gebiedsregeling. Deze heten C1 meetpunten (in schema)

**HO** = grotere wateren (bijvoorbeeld de Maas), grotere waterlichamen zijn ook HO meetpunten in de polder.

**HW**= vegetatie planten, 1 keer per 5 jaar. (kostbaarder)

10. Welke **locaties** in de polder De Eendragt zijn het best geschikt om conclusies te trekken over de waterkwaliteit?

In het monitoringsplan, die 6 punten kan je gebruiken.

11. In welke **frequentie en tijdsduur** zijn meetgegevens nodig om iets over de waterkwaliteit te kunnen zeggen?

Buitenwater continu. Binnenwater iets minder frequent (zie eerder antwoord)

12. Waarom is fase 1 (instellen flexibel peilbeheer) niet doorgegaan en is er gekozen voor fase 2 (vergroten doorspoeling)?

Kosten (drainage en duikerhoogte) en draagvlak.

13. Zijn er conflicterende belangen tussen waterkwaliteit en waterkwantiteit?

*Intense neerslag*

Doorspoelen als het veel regent. Een intense bui kan zorgen voor een slechtere waterkwaliteit via overstorten en nutriënten. Als je de inlaten openlaat, komt er nog meer water de polder binnen. Dit moet het gemaal wel aankunnen.

*Droogte*

Vasthouden zoet water en de waterkwaliteit. Afweging tussen zuinig zijn op zoet water, versus doorspoelen.

**Vraag uit rapport: Advies doorspoelen Eendragt definitief:**

3.3.2. [Waarom is in de zomer de nutriënten belasting het laagst?](#)

In de zomer is het volume groter. Onder normale omstandigheden is het zomerpeil hoger dan het winterpeil. In de winter is de nutriënten belasting veel hoger als gevolg van meer afspoeling en een lager waterpeil (kleiner volume).

-----

## **11. Appendix 5 Water quantity and water quality goals**

Maintaining sufficient water quality in the polder system is closely connected to achieving water quantity goals. This sub-chapter evaluate the sources, locations and criteria for chloride and nutrient concentrations. Lastly, there is looked at the measures to improve the water quality, followed by monitoring locations.

Sub-chapters

- 1.1. Chloride concentration and requirements
  - 1.1.1. Chloride concentrations at inlets
  - 1.1.2. Groundwater seepage
  - 1.1.3. Chloride requirements
- 1.2. Nutrient concentration and requirements
- 1.3. A sufficient water flow
- 1.4. Needed inlet capacity
- 1.5. Monitoring

### **1.1. Chloride concentration and requirements**

Chloride is a stable ion in seawater, it can therefore be used as an indicator for saltwater intrusion (Ma, et al., 2019). First, the origin of chloride is explained, chloride can enter the Eendragt polder due to groundwater seepage and at the inlets during periods of drought. Lastly, the maximally allowed chloride concentrations in the Eendragt polder are discussed.

#### *1.1.1. Chloride concentrations at inlets*

The freshwater supply will deteriorate in the future due to natural developments such as increasing drought, a diminished water supply and a rising sea level, but also due to interventions in the main system a changing division of the Rhine river, and an increased withdrawal for upstream water harvesting (HydroLogic, 2020). Since December 2010 the Kierbesluit came into force, the Haringvliet sluices are opened during high tide to foster fish migration from the North Sea to the inland river (Beijk, Haas, & Van Pagee, 2008). A closing regime is implemented for the Haringvliet sluices to limit salt intrusion till the west side of the Spui (Beijk et al., 2008). Simultaneously the demand for fresh water increases qualitatively and quantitatively (HydroLogic, 2020). The Eendragt polder will have an increased freshwater demand due to a gradual increase of agricultural demand and a yearly round flushing of the polder system. Figure 8.1 shows the expected increase in freshwater demand according to the Delta scenario Steam in 2050 in comparison to 2017. Delta scenario Steam expects rapid climate change in combination with considerable economic growth, this scenario expects that existing urban centres and nature areas will increase at the expense of agricultural land (HydroLogic, 2020). Figure 11.2 shows possible salinization mechanisms in the Rhine-Meuse Estuary. Figure 11.3 shows the degree of salinization in the management area of WSHD. Inlets Brakelsveer, Nieuw-Beijerland, and Piershil located at the northside of the Eendragt polder can almost always let in fresh water except during low tides (Figure 11.3, score III), for these inlets it is recommended to install an EC-meter (EC = Electrical Conductivity). Inlets Den Hitsert, Goudswaard and pumping station De Eendragt do not experience inlet problems (Figure 11.3, score IV).

## Water demand Hoeksche Waard

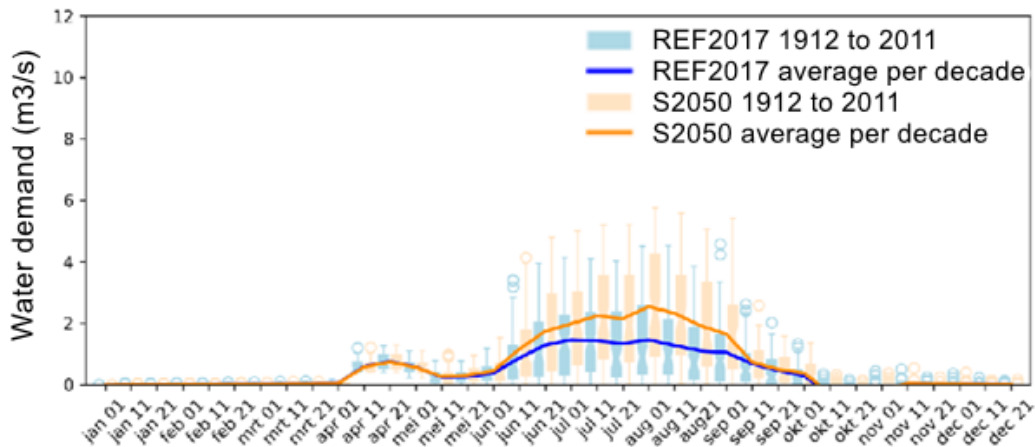


Figure 11.1 Water demand (inclusive flushing) Hoeksche Waard per decade derived from the Urban Hydrological Model from the period 1912 until 2011. The blue line represents the water demand in 2017 and the orange line represents the demand in 2050 according to the Delta scenario Steam (HydroLogic, 2020).

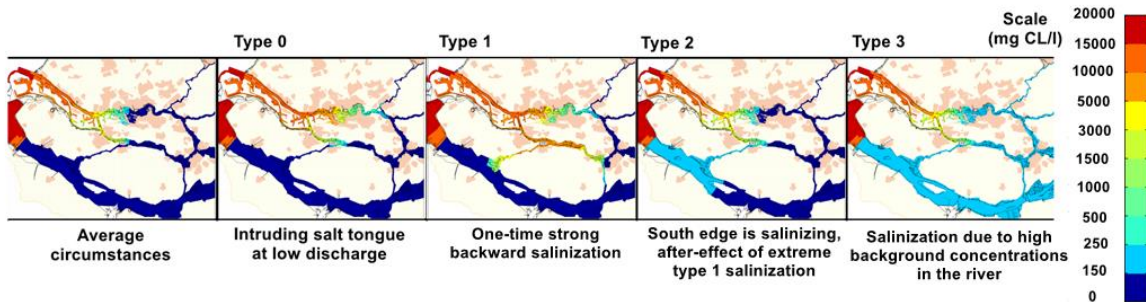


Figure 11.2 Overview types of salinization in Rhine-Meuse estuary (De Vries, Fase 2: definitieve toetsing, 2014).

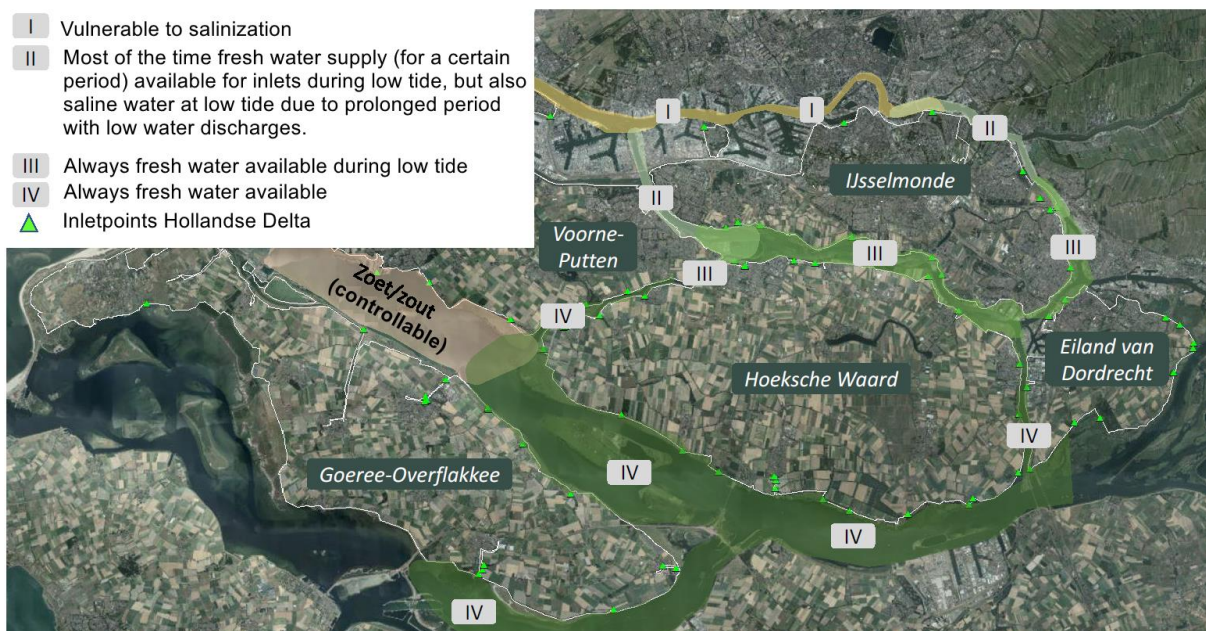


Figure 11.3 Degree of sensitivity of salinization in relation to the water availability (HydroLogic, 2020).



Figure 11.4 shows the tidal movement at the Haringvliet sluices, from 16 till 22 April 2021. The salt content in the Spui and the Haringvliet is generally the lowest during low tide, this is the moment when the saltwater retreats. To maintain good water quality in the Eendragt polder, this is the best time to open the inlets.

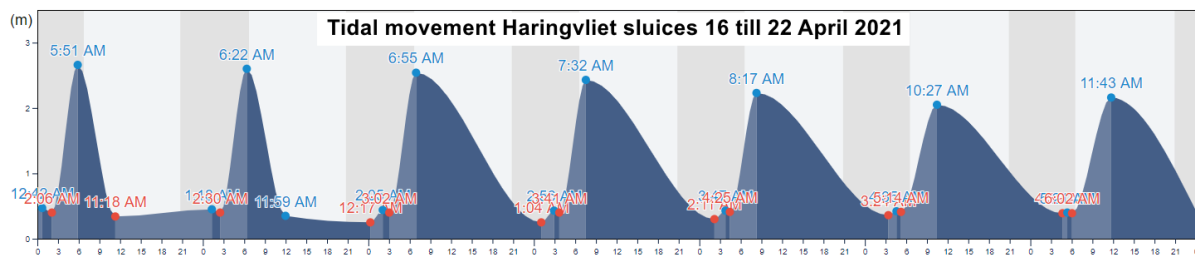


Figure 11.4 Tidal movement Haringvliet sluices (Tideschart.com, 2021).

### 1.1.2. Groundwater seepage

Groundwater seepage is mainly present in sub-polders P-H02.001, P-H02.006, P-H02.005 and a part of sub-polder P-H02.004. The nutrient-rich seepage has a negative influence at low water levels and shallow ditches at locations B43B0219 and B43B0223, see Figure 11.5 (Stoutjesdijk E. , 2015). Groundwater in the entire polder consists of a large amount of phosphorus ( $\geq 2$  mg/l) and nitrogen ( $\geq 8$  mg/l) (Stoutjesdijk E. , 2015). Groundwater at the south- and west side of the polder consists of the highest chloride concentrations till 6.000 mg/l, see Figure 11.6. During autumn (September till October) the highest chloride concentrations are found (Maandag & De Ruiter, Optimalisering doorspoelen De Eendragt, 2018).

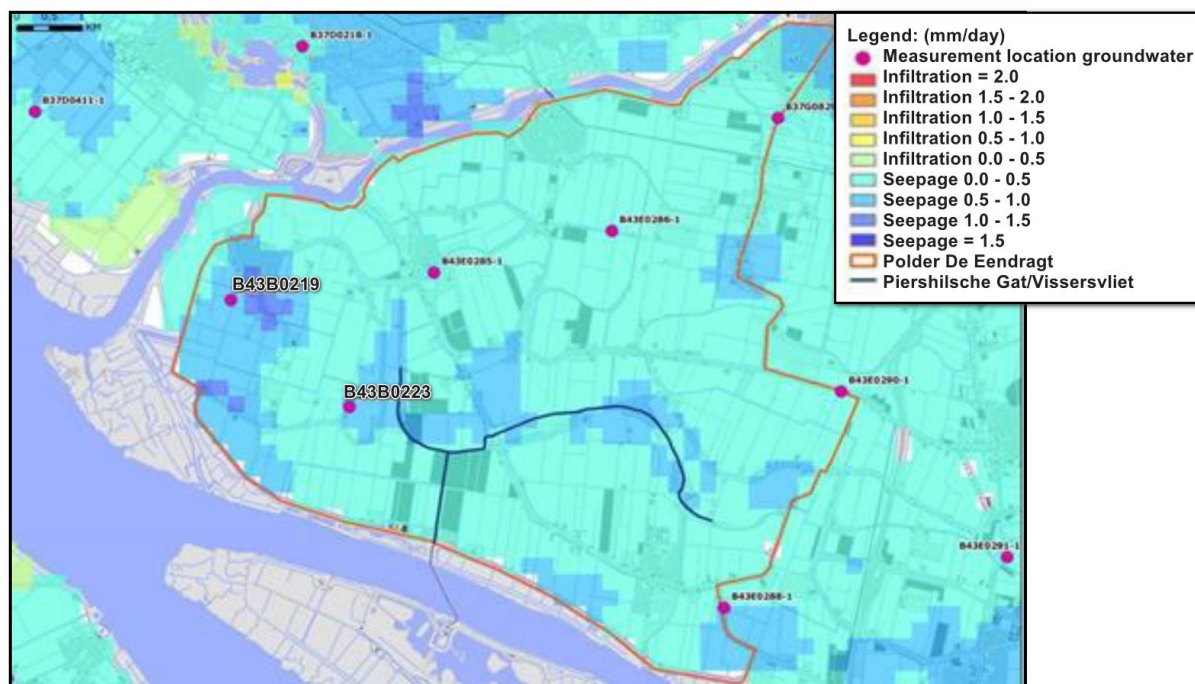


Figure 11.5 Infiltration and seepage in the Eendragt polder (Stoutjesdijk E. , 2015)



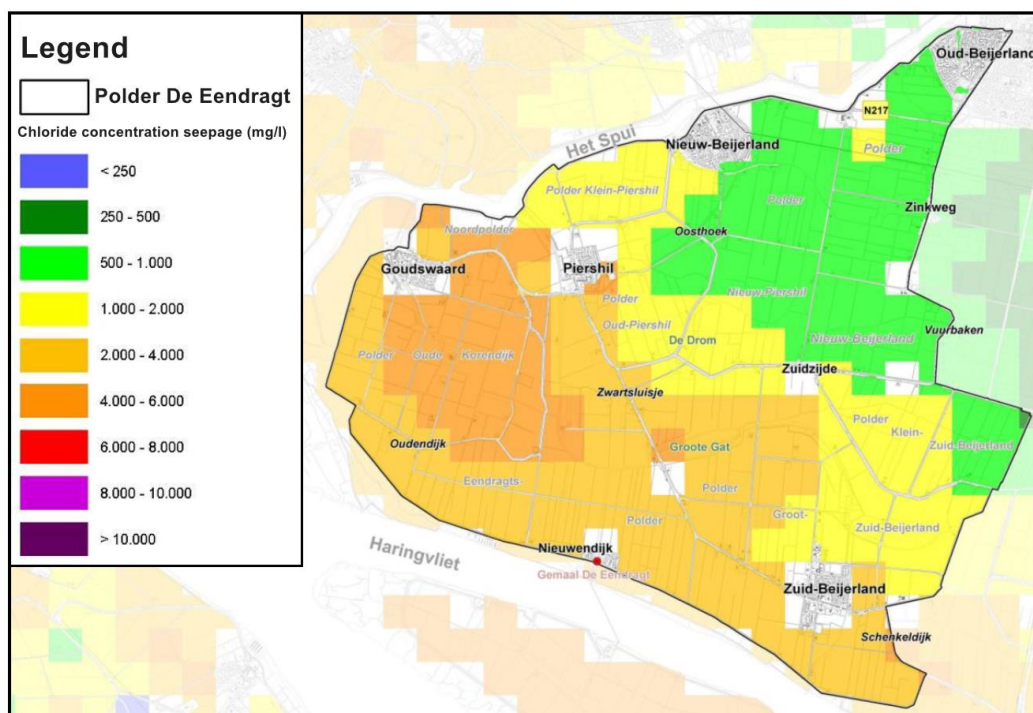


Figure 11.6 Chloride shallow groundwater 2001 (Stoutjesdijk E. , 2015)

### 1.1.3. Chloride requirements

Macrofauna present in the polder is adjusted to low chloride concentrations, therefore high chloride concentrations with large fluctuations are unfavorable (Verdonschot & Van Riel, 2020). The Eendragt polder is mainly used for agriculture. For agriculture, chloride concentrations lower than 600 mg/l are needed (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). The KRW-waterway meets the fresh WFD water requirement that states that the chloride concentrations must be lower than 300 mg/l during for summer half-year average (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). At some locations in the Eendragt polder this requirement is however not met, this includes some locations behind the inlets Histerse Kade, Goudswaard and Nieuw Beijerland (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). Some areas in the polder are also used for fruit cultivation that needs chloride concentrations lower than 250mg/l (Clevering, Voogt, Aandekerk, Van Dam, & Van der Maas, 2007). Based on the type of land use in the adjacent polder for each inlet a chloride guideline is given. Table 11.1 gives an overview of the chloride guidelines.

Table 11.1 Overview guidelines chloride concentrations (HydroLogic, 2020)

	Recommendation	Guideline chloride concentration (mg/l)
<b>Inlet Brakelsveer</b>	Recommended for TA in combination with EC-meter	250
<b>Inlet Den Hitsert</b>	-	250
<b>Inlet Goudswaard</b>	-	400
<b>Inlet Nieuw-Beijerland</b>	EC-meter and TA are present, but must be connected	250
<b>Inlet Piershil</b>	Recommended for TA in combination with EC-meter	300
<b>Pumping station Eendragt</b>	-	250

### 1.2. Nutrient concentration and requirements

A low nutrient load indicates low phosphorus and nitrogen concentrations (Hoogenboom, 2014). The nutrient load is the highest during winter, due to ground drainage, and a lower water level (Kuipers, personal communication, March 11, 2021). This contrasts with summer, when there is a low nutrient

load, during this period the water levels are higher, creating a larger water volume (Kuipers, personal communication, March 11, 2021).

Very high phosphorus concentrations are found behind the inlet at Goudswaard and diverse locations in the back of the polder. The highest phosphorus load originates from sub polders P-H02.001 and P-H02.007. In sub polder P-H02.001 there is a high natural seepage causing high chloride concentrations (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). The high phosphorus load in sub polder P-H02.007 is caused by a large amount of water that is led in (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018).

A nitrogen concentration between 2.8 – 5.6 mg/l is sufficient to reach a biological healthy water quality (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). Everywhere in the polder, this requirement is met. At one location, however, in the “Eendragt polder Zuid” (sub-polder P-H02.006) this requirement is not met (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018).

The chlorophyll concentration may maximally be 46 microgram ChlA/l (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). Several locations spread out over the Eendragt polder do not meet this requirement, this consists of flushing locations at Nieuw Bijerland, Brakelsveer, Hitterserse Kade and Oud Beijerland (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). Chlorophyll concentrations are the highest behind the inlet Goudswaard and the Domkreek (HOP 0128) (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018).

### 1.3. A sufficient flow

Problems occur when the residence time is too long. The water quality in a waterway with a long residence time (5-20 days) is determined by internal processes (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). The limit lies between 10-30 days (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). The critical nutrient load is defined as the turning point at which the system switches from a clear healthy water system to a turbid unhealthy water system (Van Gogh, 2014). This is also known as the hysteresis effect, water plants disappear and there is an increase in algae growth and bream (Hoogenboom, 2014), see Figure 11.7. Algae growth usually occurs during the summer months, with high temperatures (Van Nguyen & Wood, 1979). There is a healthy biological system when the actual load is lower than the critical load.

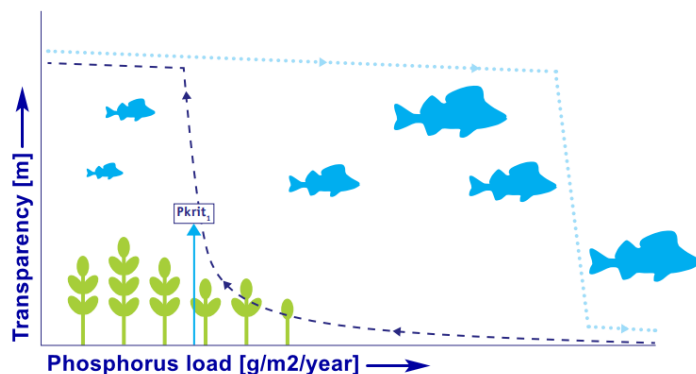


Figure 11.7 Switch from healthy clear water to turbid unclear water (Van Gogh, 2014).

Flushing can cause improvements for chloride, phosphorus, and nitrogen concentrations and phytoplankton, this will have a positive effect on the turbidity and other biological parameters (Hoogenboom, 2014).

The KRW-waterway receives water from the whole polder area, therefore this polder can be used to determine whether the Eendragt polder has a sufficient water quality, see figure 3-22 (Stoutjesdijk E. , 2015). KRW-waterway consists of 70% inlet water, 30% of ground drainage (a combination of seepage and precipitation) and it consists of a small amount of seepage and precipitation directly to the waterway (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). WSHD decided to have an all year round flushing in the KRW-waterway (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). It was concluded that flushing of the

polder in combination with the planned nature-friendly banks would generate added value (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018).

A residence time of 5 days during the summer period in the KRW-waterway will reduce the algae growth, this will be sufficient to reach the water quality (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). The algae growth will completely disappear at a residence time of 3 days (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018).

A residence time of 5 days is 4 times shorter than the current residence time of 20 days (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). At a residence time of 3-5 days, the water quality in the polder will largely be determined by the water quality at the inlets. The KRW-waterway is divided into a northern, eastern, and southern part, see Figure 11.8. The desired flushing at the KRW-waterway for a residence time of 5 days is 10 m<sup>3</sup>/min in the northern part and ca. 30 m<sup>3</sup>/min in the eastern part (Kuipers & De Ruiter, *Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit*, 2021). To achieve this a pumping capacity of 40 m<sup>3</sup>/min (10 m<sup>3</sup>/min + 30 m<sup>3</sup>/min) is most favorable.



Figure 11.8 KRW-waterway. Pink northern part, purple eastern part, and green southern part.

#### 1.4. Needed inlet capacity

A water supply of 125 m<sup>3</sup>/min is needed from the inlets to achieve the water supply standard of 0.4 l/s/ha. 0.2 l/s/ha must be available for summer flushing, and 0.2 l/s/ha must be available for evaporation and irrigation, this equals twice 63 m<sup>3</sup>/min (125 m<sup>3</sup>/min / 2 = 63 m<sup>3</sup>/min). Calculations of BWZ shows that in practice only 20 m<sup>3</sup>/min is needed for evaporation and irrigation, this is most probably due to seepage (Kuipers & De Ruiter, *Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit*, 2021). During the winter hardly any water is used for irrigation and evaporation, during this period 125 m<sup>3</sup>/min is available for flushing. From April water is only let in for the management of the water levels. In June, July, August also water is let in for flushing and sprinkling (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018).

Currently, the whole Eendragt polder uses 20 m<sup>3</sup>/min for evaporation and 7 m<sup>3</sup>/min for flushing, the water has an average residence time of 20 days (Kuipers & De Ruiter, *Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit*, 2021). The water used for flushing consists largely of inlet water originating from the Histerse Kade and Goudswaard.

The inlets have a maximum inlet capacity of 200 m<sup>3</sup>/min, if the inlets are open 100% of the time by using an average water level in the river (Kuipers & De Ruiter, *Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit*, 2021), see Table 11.2 Inlet capacities. In practice the inlets are open 20-30% of the time (Maandag & De Ruiter, *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*, 2018). During an extreme drought, pumping station De Eendragt can also be used to supply fresh water (Stoutjesdijk E., 2015). At inlet Piershil the maximum flow capacity of 23 m<sup>3</sup>/min

is hindered by a weir in combination with a culvert located in the polder, lowering the maximum flow capacity to 10 m<sup>3</sup>/min. Therefore, the current inlet capacity is 187 m<sup>3</sup>/min. The maximum needed flow capacity of 125 m<sup>3</sup>/min is however still reached. In practice inlet Brakelsveer is however hardly used due to the inlet of contaminated sand entering the polder (Frijters, personal communication, 12 March 2021). Subsequently, in practice only 54 m<sup>3</sup>/min is available for flushing ( $125 - 18 = 107$ ,  $107/2 = 54$  m<sup>3</sup>/min).

Table 11.2 Inlet capacities (Kuipers & De Ruiter, Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit, 2021)

Name inlet	Sub-polder	Drainage area [ha]	Needed Capacity [m <sup>3</sup> /min] (water supply standard 0.4 l/s/ha)	Needed Capacity [m <sup>3</sup> /sec] (water supply standard 0.4 l/s/ha)	Needed Capacity [m <sup>3</sup> /min] (water supply standard 0.5 l/s/ha)	Needed Capacity [m <sup>3</sup> /sec] (water supply standard 0.5 l/s/ha)	Current maximal capacity [m <sup>3</sup> /min]
Goudswaard	P-H02.001 P-H02.005	1967	47	0.78	59	0.98	42
Piershil	P-H02.002	867	21	0.35	26	0.43	23 (currently 10)
Nieuw-Beijerland	P-H02.004 half	751	18	0.3	23	0.38	40
Brakelsveer	P-H02.004 half	751	18	0.3	23	0.38	77
Den Hitsert	P-H02.007	897	21	0.35	26	0.44	18
<b>Total</b>		<b>5215</b>	<b>125 m<sup>3</sup>/min</b>		<b>157 m<sup>3</sup>/min</b>		<b>200 (currently 187)</b>

### 1.5. Monitoring

A monitoring plan had been set up for the Eendragt polder. Monitoring is needed because data is missing regarding the discharge data at inlets and pumps, there are insecurities on the effect on the water quality by implementing the measure 'flushing polder system' (Maandag & De Ruiter, Optimalisering doorspoelen De Eendragt, 2018). To evaluate the effect of the measure "flushing polder system" it must be monitored which discharge is required to achieve a sufficient water quality (Maandag & De Ruiter, Optimalisering doorspoelen De Eendragt, 2018). To evaluate this the following will be monitored; discharges at inlets, discharge at outlets, the water quality at diverse locations in the waterway and the water quality in the polder at locations that will face another flushing regime (Maandag & De Ruiter, Optimalisering doorspoelen De Eendragt, 2018). To evaluate the effect of the measure "flushing polder system" there should be looked at the following parameters (Maandag & De Ruiter, Optimalisering doorspoelen De Eendragt, 2018): chloride (EVG), phosphorus, nitrogen, turbidity, and chlorophyll A.

KRW-waterway consists of 6 measurement locations, these monitoring locations look at information such as macrophytes, turbidity, macrofauna and phytoplankton, Figure 11.9 (Maandag & De Ruiter, Optimalisering doorspoelen De Eendragt, 2018). Other interesting chloride monitoring locations could be in sub-polders P-H02.006 and P-H02.002. In these sub-polders, it is suspected that sufficient water quality is hindered due to high chloride concentrations (Frijters, personal communication, 12 March 2021).



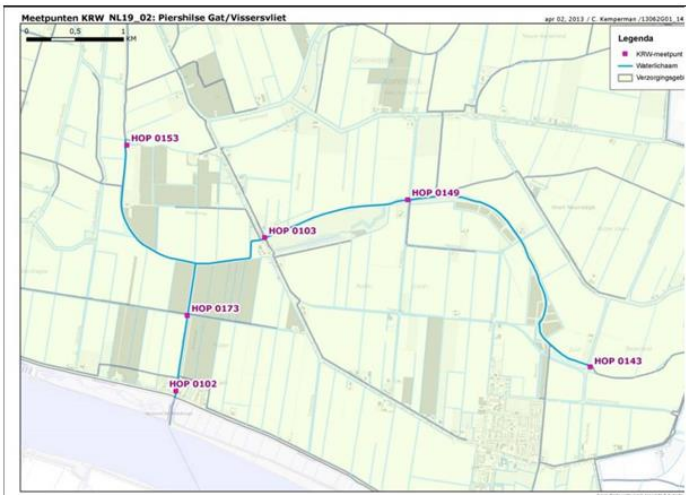


Figure 11.9 Monitor locations in KRW-waterway (Kuipers & De Rooter, Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit, 2021)

## 12. Appendix 6 Decision support system

The information is obtained by conducting interviews. Table 12.1 lists the interviews, the reference number, and the corresponding appendix.

Table 12.1 Interviews used to answer sub-question 2.

Interviews	Organization	Date	In text referred with no.	Appendix nr.
Fritz	Water board	08-04-2021	1	7
Van Heeringen	Research institute & consultancy firm for water sector	24-03-2021	2	8
Krol	Consultancy firm water sector	26-03-2021	3	9
Loos	Consultancy firm water sector	24-03-2021	4	10
Van Norel	Water board	16-03-2021	5	11
Den Ouden	Water board	02-04-2021	6	12
Raat	Water board	17-03-2021	7	13

### 1. Meteorological data

Complex energy balance models are used to make precipitation forecasts. The precipitation forecast is derived from the moisture content, the moisture content is a by-product of this complex energy balance (Dingman, 2015). Due to the high complexity, the amount of precipitation is hard to predict, to give more accurate results multiple corrections are performed based on historical data and by using assimilation techniques (Interview **no. 2**).

Rainfall predictions play a crucial role for the DSS, however can be highly uncertain. This causes problems for proper management. A critical situation can occur when an extreme rainfall event is predicted. A fast but transparent decision is needed regarding turning on or off the main pumping station in the Eendragt polder. By turning on the pumping station in advance, more storage is created to store the large volume of water, in a short amount of time. The risk arises when a few hours later it is concluded that this rainfall event never occurred. As a result, riparian banks can collapse, and ditches can fall dry, and agricultural lands cannot be irrigated. This can result in high damage claims, this can however also be claimed when the pump is not switched on, and then a few hours later the extreme rainfall event still occurs. During this situation, there is not enough storage and drainage capacity available, which will also lead to considerable losses.

To make a proper decision, it is important to know the current state of the water system (Interview **no. 2 & 6**), and to determine whether enough storage is available and if there is a sufficient drainage capacity available, this is highly dependable on the characteristics of the area (Interview **no. 2**). In the period March/April, there is a switch from wet to dry, and in September/October there is a switch from dry to wet (Interview **no. 6**). Water board Delfland explained that this is crucial in recognizing a critical situation (Interview **no. 6**). It was further explained that if the DSS knows the current state of the water system it can give an estimation of the predicted water level. The DSS makes use of a target function, based on different goals, several measures are compared. The set of measures with the lowest weight is chosen.

The type of rainfall event can indicate the degree of uncertainty. Warm weather causes convection rainfall events during summer (Lenderink, Attema, Van Oldenborgh, & Van Meijgaard, 2011). Fritz and Raad explained that these rainfall events arise suddenly and are hard to predict, this causes a large uncertainty (Interview **no. 1 & 7**). Questions can however be raised whether this will cause a problem. During summer, the water level is lower, resulting in a higher storage capacity. Problems with intensive rainfall events usually occur during autumn, as in 2013 and 1998, these rainfall events were formed by a precipitation front, which produces rain over a longer period (Interview **no. 1**). Precipitation fronts usually occur during the winter (KNMI, 2021). It arises when warm and cold air meet, the cold air is heavy, this forces the warm air to rise (KNMI, 2021). The warm air cools down, creating a wide cloud cover (KNMI, 2021). The intensity of these precipitation

fronts is lower but spreads over a larger area (KNMI, 2021). This makes these precipitation events easier to predict, which makes it easier to anticipate (Interview **no. 1**).

To minimize the risk even further, the decision making could be postponed. This strategy is applied by water board Delfland and is also known as tree-based optimization, which is developed by Deltares (Interview **no. 6**). Fritz explained that this strategy looks at a set of different scenarios in the future with a certain bandwidth of expected precipitation (Interview **no. 1**). The strategy is to wait until there is no other way out. After this point, there is no perspective anymore to take sufficient measures. The regional water level manager indicated that he does this already (Frijters, personal communication, 25 March 2021). Lastly, it is important to use high frequent calculations with the most recent data, which will increase the reliability of the model (Interview **no. 3**).

In addition to this, it is always recommended to compare the predicted water levels values to the actual water levels in the field (Interview **no. 3**). The input from the operating system can therefore be used for data validation, and error detection (Interview **no. 3**) Water board Rijnland has a meteorological service which they can call for advice during an uncertain situation (Interview **no. 7**).

The weather models Harmonie and ESP are leading and are mostly used in the Netherlands by water boards (Interview **no. 4**). Loos however explained that the optimal use of the weather models is strongly dependent on the water system itself, it must be customized for the specific needs and characteristics of the area (Interview **no. 4**). A large variety of data products is available. An overview of the discussed precipitation products is given.

#### *ESP from ECMWF*

The Ensemble Streamflow Prediction (ESP) of the weather model ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) was recommended during several interviews (Interviews **no. 2 & 3 & 4 & 5 & 7**). The ensemble method is based on disturbances of the initial conditions, every 12 hours the ESP gives 50 scenarios for the coming 10 days. Due to the large variety of outcomes, an indication regarding the uncertainty can be given. The uncertainty is visualised into an expectation plume, Figure 12.1.

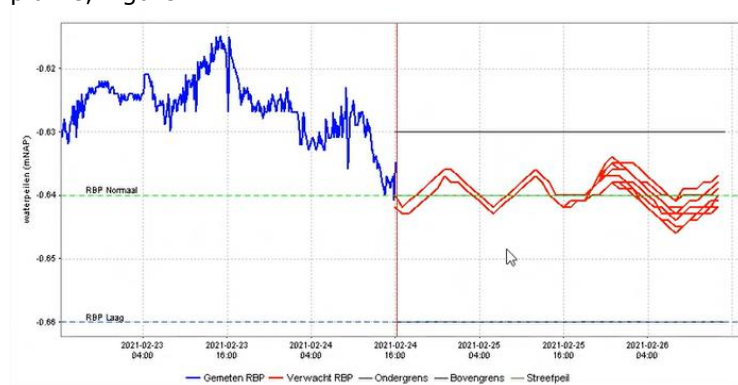


Figure 12.1 Uncertainty plume (interview no. 7)

The percentiles of these scenarios are used to determine a maximum, average, and minimum weather scenario (Interview **no. 2 & 4 & 5 & 7**). The scenarios are derived from reliability intervals, the minimum scenario corresponds with a 10% percentile, the average scenario and maximum scenario corresponds with at 50% and 90% percentile. The leading scenario depends on the choice of the water board (Interview **no. 4**). The information regarding the precipitation is used to determine the predicted water levels in the region of interest, this can be done in a SOBEK model. The spread in outcomes can be very large, the uncertainty becomes larger into the future. At water board Hunze and Aa's the actualisation is dependent on the prognosis. During regular circumstances, the SOBEK-model gives information regarding the water levels twice a day, during critical situations, this is once per hour (Interview **no. 5**).

#### *Harmonie*

Harmonie was mentioned in several interviews (Interview **no. 2 & 4 & 7**), weather model Hirlam provides a backup (Interview **no. 7**). Harmonie is a meteorological model developed by the KNMI

and provides a pixel-based precipitation prediction (2.5 \* 2,5 km) (Weerplaza, 2021) By applying a deterministic approach every 6 hours the Harmonie model gives information for the coming 48 hours, it does not indicate uncertainty (Interview **no. 2**) In comparison to the ECP model, Harmonie provides information for a shorter timescale, an advantage for a fast-reacting water system. A disadvantage of this model is the large processing time, as a result, the weather forecast is lagging. It takes the model 4 hours to process new data input, afterwards, the information must be converted to the DSS system which can take around 30 minutes (Interview **no. 2**). As a result, the most recent weather forecast is at least 4.5 hours and is maximally 10.5 hours behind schedule (Interview **no. 2**).

#### *Combining radar data with rainfall gauges*

Another option to further optimize the precipitation prediction is to combine a precipitation radar with rainfall gauges from the KNMI (Interview **no. 4**). Loos explained that this can be calibrated with ground stations of the KNMI, resulting in a very detailed overview of the precipitation in millimetres per km<sup>2</sup> (Interview **no. 4**). He explained that this is an improvement concerning rainfall gauges in the area, rainfall gauges can only give information regarding one specific location. Water Board Delfland has a fast-reacting water system, radar images alone are not able to provide high frequent information (Interview **no. 1**). Harmonie did not give precise and frequent information; therefore, they switched to DTN. DTN combines rain gauges with radar images (Interview **no. 1**). HydroNet gives a measurement of the precipitation by using rainfall gauges. DTN incorporates the weather predictions with actual rainfall measurements, by doing this it provides corrected radar images (Interview **no. 1**). To get more precise results Delfland has recently switched to use its rainfall gauges, instead of using the rainfall gauges of Hydronet. A disadvantage is that the rainfall gauges are very local, it could miss rainfall.

#### *Nowcasting*

Van Heeringen explained that currently, Deltares is developing a new radar product called Nowcasting (Interview **no. 2**). It is an experimental product, but it can provide an added value in interpreting weather predictions. Nowcasting makes use of machine learning techniques and image processing, it can be compared with buienradar.nl. This product is not physically based, making it less complicated than the Harmonie and the ESP model. Nowcasting gives a new weather prediction every 5 minutes for the coming 2 hours, KNMI will make this publicly available during summer (Interview **no. 2**).

## **2. Important parameters**

Next to precipitation and evaporation forecasts that can be used as input for the DSS, other parameters could also be considered. The following parameters emerged during the interviews: discharge, water levels, wind, tidal movement, fish migration, turbidity, energy use, green energy, pendle behaviour pumping station, followed by oxygen, chlorophyll, and chloride concentrations.

First, it is important to investigate which data input is already available at WSHD. For the RCS, SCADA will give real-time information regarding the water levels nearby the assets. In addition to this WSHD possesses several measurement locations to monitor the water quality, examples are chloride, oxygen and chlorophyll concentrations, and turbidity. The measured data arrives a few weeks later at the headquarter of WSHD, after which the water quality is evaluated (Kuipers, personal communication, March 11, 2021). Currently, it is not possible to use the monitoring locations for active control of the polder system.

Oxygen measurements are taken nearby sewer overflows (Kuipers, personal communication, March 11, 2021). Chloride concentrations can only be measured in a laboratory. Instead, the electroconductivity (EC) of the water is measured with an EVG device, the chloride concentration can be derived from this. Chlorophyll concentrations can only be measured at a laboratory. Turbidity is however closely linked to the chlorophyll concentrations. Turbidity can be measured continuously, and can therefore offer an alternative (Kuipers, personal communication, March 11, 2021). A high temperature does not necessarily imply a bad water quality, a temperature above 25 degrees is however too high. It could indicate a long residence time, this is not tested at WSHD yet (Kuipers, personal communication, March 11, 2021).

The question can be raised whether it is desirable to have a large input of different parameters for the DSS. Several interviewees indicated that the input parameters strongly depend on the predefined goal of the DSS (Interview **no. 1 & 2 & 3 & 4**).

Chloride and oxygen concentrations can for example be less important during fluvial flooding resulting from an extreme rainfall event (Interview **no. 2**). Inside information is needed regarding the management issues (Interview **no. 4**). The parameters that are important to use are strongly dependent on the characteristics of the area (Interview **no. 4**). Several interviewees emphasized that especially at the beginning of the development of the DSS it is important to not make the model too complicated. A step-by-step approach is needed with realistic goals (Interview **no. 1 & 2 & 4**).

Traditionally the development of the DSS only focuses on water quantity parameters, such as water levels and discharge (Interview **no. 6**). Many different processes determine water quality, which makes a water quality model very complex. A reliable model is needed when applying feedforward control or model predictive control (Interview **no. 6**). To achieve this the water quantity model must be correct, only then it is possible to make a well-balanced water quality model (Interview **no. 1**), which incorporates parameters such as turbidity, oxygen, chlorophyll, and chloride concentrations. It is also possible to apply feedback control. When for example the chloride concentrations are too high, actions can be taken. Another example of feedback control can be seen at Rijnland. Rijnland recently started to look at effluent from wastewater treatment plants. There is looked at the turbidity, by doing this it can be prevented that swimming water gets polluted (Interview **no. 7**).

The number of parameters that can be taken into consideration in the model is also strongly dependent on the amount of buffer in the system (Interview **no. 6**). The buffer of a water system becomes higher if the water level can fluctuate more. If this is the case it is more beneficial to consider other sustainability parameters such as fish migration, energy use and green energy which are largely interconnected to tidal movement.

Remote sensing techniques can offer a large variety of data products, some interesting applications were mentioned. Both water board Rijnland and Hollands Noorderkwartier use satellite images to determine whether there are water plants present in the polder (Interview **no. 3 & 7**). The amount of water plants is determined by the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Interview **no. 3**), this information could be strategically used to influence the polder behaviour of the pumping station (Interview **no. 3 & 7**).

Another application is to look at the moisture content to detect illegal irrigation activities (Interview **no. 2**). When the soil is wet, and no rain has fallen in the days before this could indicate that the agricultural field has been irrigated. This can give important information during periods of drought. The usability of remote sensing techniques is however strongly dependent on frequent data input and small pixel size, this must be carefully considered by applying new applications (Interview **no. 2**).

### **3. Groundwater levels**

In several interviews, it was indicated that groundwater levels have a great potential to make the DSS more accurate (Interview **no. 1 & 4 & 6 & 7**). No examples were given of groundwater measurements directly used in a DSS. Nowadays water boards do not always give it the attention it deserves (Interview **no. 4**), in some applications it could be used for data assimilation (Interview **no. 2**). Water board Rijnland and Delfland indicated that groundwater could have an added value for the DSS (Interview **no. 1 & 6 & 7**). The SOBEM-model of Rijnland already consists of groundwater measurements, for accurate results too few measurements are available (Interview **no. 7**).

The use of groundwater levels is dependent on the area of interest. The Eendragt polder is largely unpaved, therefore the groundwater levels play an important role. In addition to this the Eendragt polder is located next to the rivers Spui and Haringvliet which experience fluctuations in water level, this could have a large impact on groundwater seepage and groundwater fluctuations (Interview **no. 4**). The Eendragt polder largely consists of clay, which reacts less quickly compared to sand, a clay ground has however still a large storage capacity.

For model predictive control it is important to anticipate rainfall events. Insight into the groundwater levels forms the base for a good precipitation discharge model, which is needed for



model predictive control (Interview **no. 1**). Groundwater levels can give information regarding the history of previous meteorological conditions (Interview **no. 4**). Knowing the available storage capacity of the ground helps to improve the initial condition (state) of the precipitation discharge model (Interview **no. 1**). The current state of the water system is very important to determine how the water system reacts. The actual soil storage is the available space in the soil to absorb a rainfall event, it tells how much space is present in the soil to buffer the rainfall event (Interview **no. 4**). Groundwater levels can help to estimate the volume of precipitation that infiltrates into the ground and which volume directly flows to the surface water. The DSS can use this information to make more accurate water level predictions.

The groundwater levels could be predicted with a product called OWASIS (Interview **no. 4**). OWASIS gives information regarding soil moisture, groundwater, and evaporation (Van Slooten, Met OWASIS de (droge) zomer door, 2020). OWASIS is developed in a cooperation between HydroLogic, ESA, STOWA, Rijkswaterstaat and several waterboards (Van Slooten, Met OWASIS de (droge) zomer door, 2020). By using remote sensing images, soil maps, land use and real-time groundwater levels can give an estimation regarding the current and predicted condition of the soil, groundwater, evaporation and water availability (Van Slooten, Met OWASIS de (droge) zomer door, 2020).

Another method that could be applied is using historical data for machine learning, water board Hunze en Aa's uses this to predict the groundwater levels 2 weeks in advance (Interview **no. 5**)

#### 4. Data locations

Several interviewees indicated that from a scientific view the use of more data points will lead to more accurate results (Interview **no. 1 & 2**). Measuring locations are essential to know how the water system works, therefore no savings should be made on this (Interview **no. 1**). If 2 measurement locations close to each other can give the same result, it is possible to remove one of these measurements locations. During critical situations, however, important measurement locations can fail. An extra measuring point makes the DSS system less vulnerable by giving it an extra backup (Interview **no. 1**).

Extra measurements on the other hand also require more maintenance and investment costs. In the past, the focus was mainly on purchasing a small number of high-quality measuring devices, nowadays there is a shift towards having more but cheaper measuring devices with a lower quality (Interview **no. 6**). It is preferred to have many measurement devices, instead of having only a few measurement devices of high quality (Interview **no. 6**). This is also because the measurements devices have become more affordable over the years.

To reduce costs, optimizations can be made. Not all measurements locations are automatically stationed on the most logical location due to the historical development of the telemetry system, this can be due to specific reasons such as available internet and power connections, or the accessibility of a certain location (Interview **no. 4**). Currently more logical data locations are possible. The input locations are strongly dependent on the goal, this determines which data locations are critical (Interview **no. 3**). It is important to investigate how the area reacts, by doing these the most important measurement locations can be determined (Interview **no. 4**).

At both water boards Rijnland and Delfland most of the measurement locations are nearby the automated assets, manually steered objects have a water level gauge (Interview **no. 6 & 7**). At Delfland the focus is mainly on measuring points centrally located in the main waterway because that is where the water levels rise the furthest and are the most critical (Interview **no. 1**). A large stretched out polder can have large fluctuations due to wind or blocking constructions. Both Rijnland and Delfland have automated sensors that are present at the back polders, this could be a strategically important location (Interview **no. 6 & 7**). These measurement locations can be powered by a battery or a solar panel.

#### 5. Limit & signal values

The DSS allows looking further than the conventional water management practices, which looks at the start and stop level of the assets in the polder (Interview **no. 3**). In the regional water level agreement, there is a lower and upper limit concerning the target level, the water level may fluctuate within these margins (Interview **no. 6 & 7**). Further away from the target level, there is a maximum

and a minimum upper limit. Water safety will play a role when these limits are exceeded, the water level could go over the dike or the quay can dry out (Interview **no. 6**). The DSS system can look at a variety of parameters, a variety of limit and signal values is possible (Interview **no. 3**).

There can also be looked at indirect signal values (Interview **no. 2**). An example of an indirect signal value is to look at the water level prediction in 2 days. This value could be derived from the expected precipitation intensity. The DSS of water board Hunze and Aa's makes use of different levels of urgency. The different levels are based on the water levels in the main waterway relative to the height of the dike. Based on the level of urgency various combinations of measures are activated. This prevents that too drastic measures are taken (Interview **no. 5**).

The system must reflect reality, knowledge of the area is crucial (Interview **no. 4 & 7**) It is important to keep it simple and first determine the main goals for the water system (Interview **no. 2**). It is important to look at the current steering of the polder, which is determined by the regional water manager, which can be translated to steering margins (Interview **no. 1**). Sometimes there can be conflicting interests in the polder (Interview **no. 1**). Fish migration could result in higher chloride concentrations. A very low water level may result in a decreasing water level or a higher water level and a bad water quality. It is also possible to make a prioritization by using displacement's series (Interview **no. 1**). These choices will be translated into the steering of the DSS.

## **6. Important lessons implementation DSS**

Unexpected circumstances may occur, a culvert may be blocked, or a weir may be out of use. In the Eendragt polder problems usually occur during summer, water plants and sand accumulation hinder the flushing of the system (Frijters, personal communication, 12 March 2021). This can deteriorate the outcome of the DSS or deteriorate public support. This raises the following question: What is needed for successful implementation of the DSS and what is the best way to deal with uncertainties or errors in the system?

DSS must be seen as a support system (Interview **no. 3 & 6 & 7**), it is no replacement for the knowledge of the water level manager or the hydrologists at the water board (Interview **no. 3**). It must be realized that the DSS can never be a 100% reflection of reality. It must be prevented that an expensive model is developed without having the full support of the whole organisation (Interview **no. 4**). The model must be in correspondence with the people working in the field, the model can be expanded further. Mutual trust is needed for the project to be successful; it is important to include everyone in the process.

The regional water manager indicated that he has a positive attitude towards RCSs, rules must be added about what can and cannot happen, it must always be possible to intervene if, for example, a culvert has been blocked (Frijters, personal communication, 12 March 2021). The water level manager remains in charge, he must recognise the steering of the polder system, it is important to know the current steering of the polder, this will determine how the DSS works (Interview **no. 1**). In several interviews it was indicated that it is important to have a clear aim (Interview **nos. 1 & 2 & 3 & 6 & 7**), it must be clear in which situations the DSS is used (Interview **no. 1 & 4**), this allows peripheral matters to be separated from the essentials (Interview **no. 3**). A more detailed model corresponds with a higher information need (Interview **no. 2**). Oversimplification can be a problem and could be diminished with machine learning (Interview **no. 6**).

The corrections are dependent on the level of detail of the model, it is important to know how the water system works during the failure of an object (Interview **no. 7**). There are 2 movements within water board Rijnland. The first group says, "The model is wrong, adjust the model", the second group says; "The model is correct, corrections in the management area must be made". This is always a discussion, eventually, the water system manager and the water level manager must find each other (Interview **no.7**). The development of the DSS is part of a learning process, the system can be improved interactively, further improvements are always possible (Interview **no. 3**)

The quality of the model is dependent on the input, also known as “Garbage in, is garbage out” (Interview **no. 6**). Otherwise, problems in automatization occur (Interview **no. 7**). Especially during critical situations, the prognoses must be accurate, if this is not the case it can violate public support (Interview **no. 5 & 7**). The underlying programs may not hamper; therefore, tests must be performed by forehand. Both the machines and computers must work properly, all the sensors in the field must work, data gathering, and processing must go flawlessly (Interview **no. 5**). To achieve this, computer skills are needed (Interview **no. 7**). It is not the case that a fewer number of people are needed, automation does not necessarily result in savings but gives a guarantee that it will always run (Interview **no. 7**). This will help to give insight into the water system during critical situations (Interview **no. 5**). It will help to give transparent advice about which measures to take under a high working load.

If the data input is not correct strange outcomes in the DSS system must be detected (Interview **no. 6**). Model results and the actual measurement in the field can vary widely, this could indicate that something has gone wrong (Interview **no. 3**). The systems must be equipped with smart tools that can anticipate to failures of sensors during a critical situation (Interview **no. 5**). During the failure of a weir, an inlet, or a pumping stations a clear signal must be given (Interview **no. 1 & 5**). Too high or low expectations will be prevented (Interview **no. 4**). It must always be possible to change the data input manually (Interview **no. 5**). When a correct value is reported an entry field is needed to quickly process the new information input (Interview **no. 5**). The employees must get a signal if the measurement location is out of use, or the data input is very unlikely. During critical situations, it’s recommended to have people outside to keep an eye on everything (Interview **no. 5**).

It must always be possible to fully control the system manually (Interview **no. 2 & 5**). A backup of the systems must always be available in case the DSS system fails, this will prevent those critical situations get out of control (Interview **no. 2**). Data assimilation, sensor calibration, model validation, and data analysis could be applied to make the DSS more accurate (Interview **no. 6 & 7**), another option is to make use of machine learning (Interview **no. 6**). At Rijnland new applications are tested at an “acceptance environment” before it is set live, it has also started a new project called “Polderlab” which is used to find new improvements. (Interview **no. 7**).

### 13. Appendix 7. Interview with Fritz. Hydrologist at water board (08-04-2021)

Een deel van de antwoorden waren vooraf al beantwoord (dit is weergegeven in groen), tijdens het interview is er een verdere toelichting gegeven.

#### 1. Wat is uw functie binnen [REDACTED] en wat voor projecten heeft u gedaan gerelateerd aan BOS?

Ik werk bij [REDACTED], ik ben hydroloog. Wat ik doe is met name wateroverlast toetsen aan de inundatie normen van het MBW. Daarnaast ben ik geo-hydroloog en grondwater hydroloog, daar doe ik technisch advies werk voor. Ik ben ook projectleider van systeemanalyses. Het is vrij divers. Ik ben een soort eigenaar van ons water informatiesysteem, waarin we ook de meetinformatie verzamelen van het watersysteem en ontsluiten voor de gebruikers.

M.b.t. BOS, in 2016 zijn we begonnen met het maken van een nieuw BOS-systeem bij [REDACTED], en mijn rol in dat project was vooral vanuit de modellen kant, vanuit de hydrologiekant, de eisen opstellen, een soort kwaliteitscontrole op wat het adviesbureau maakt, dat ik meedenk met dat adviesbureau. Het is vooral hydrologie en de modellen, vanuit die hoek heb ik vanuit het waterschap meegedacht. Ons nieuwe BOS-systeem draait nu sinds 2018, dat was een vervanging van het BOS-systeem wat al in 2004 was ontstaan. Dit was voor het boezemsysteem. Het beheer, onderhoud en de modellen kant daar heb ik een rol in, zorgen dat het systeem goed blijft werken. Als er wensen zijn vanuit de gebruikers, vanuit de peilbeheerders denk ik daarin mee.

Wij zijn één van de eerste waterschappen waar we een BOS-systeem gemaakt hebben. Dat is een beetje ontstaan na 1998 toen er een aantal heftige buien zijn geweest in Nederland. Daar is het waterbeheer van de 21<sup>ste</sup> eeuw ontstaan en op de rit gezet. Wij hebben toen in [REDACTED] veel wateroverlast gehad. Het watersysteem is helemaal geüpgraded, gemalen zijn flink uitgebreid, er is heel veel berging gerealiseerd, en er zijn ook duidelijke normen gemaakt van hier moet het systeem aan voldoen, aan wateroverlast normen en als onderdeel van dat event is een BOS-systeem gemaakt. We wilden meer vooruit kunnen sturen, zien wat er aankomt aan neerslag, en daarop kunnen anticiperen, dus dat was eigenlijk een beetje het begin van het BOS-systeem. Dat is uiteindelijk doorgroeid naar een automatische piloot. De peilbeheerders kunnen het nu op de automatische piloot zetten, deze gaat dan sturen, het zet de gemalen aan. Het zorgt ervoor dat het peil binnen de marges blijft. Het is eigenlijk een beslissingsnemend systeem, niet een beslissingsondersteunend systeem.

Voor de boezem zijn we al heel ver en hebben we al veel ervaring. Voor polders bijvoorbeeld hebben we niet een specifiek BOS-systeem. Vaak zijn polders net wat te klein, te simpel, om met een gebiedsregeling te gaan werken. Misschien grote klussen voor polders zou dat nog wel kunnen, maar die hebben we nog niet echt. Vaak zijn die regelingen nog heel erg lokaal, autonoom.

*Ik: Ik ga voor mijn stage vooral kijken naar één polder, dus die is relatief simpel. Misschien kan je er wel dingen aan toevoegen aan een BOS, als je bijvoorbeeld kijkt naar getijde verandering of slim gebruik van energie.*

Zeker dat energie gebruik, bijvoorbeeld bij het uitmalen. Stel je hebt te maken met grote peilverschillen bij het ontvangende water, ik weet niet of het buitenwater is, dan kan je bijvoorbeeld kijken naar uitmalen bij laagwater als voorbeeld. Je kunt ook kijken naar energieprijzen, van wanneer is energie goedkoop en vooral kijken van kun je je berging benutten om zoveel mogelijk in dat soort tijdsperiodes uit te malen. Daar is ook wel ervaring mee, bijvoorbeeld bij Hollands Noorderkwartier, hebben ze al een systeem dat zo werkt, daar nemen ze ook groene stroom af. Dan hebben ze van die contracten en dan kijken ze in welk tijdvenster ze het beste gaan uitmalen.

#### 2. Wat is uw definitie van een gebiedsregeling?

*Een regeling die de sturing van een verzameling kunstwerken optimaliseert op 1 of meerdere waterbeheerdoelen in een bepaald gebied.*

Het is een beetje een invulling van hoe vertaal je dat in je hoofd. Wij hebben niet op polder niveau zo'n gebiedsregeling. Ons BOS-systeem voor de boezem heeft als primair doel, het peil, binnen waterkwantiteit, binnen bepaalde marges sturen. De middelen die BOS daarvoor heeft, zijn gemalen om het water uit te malen, en een gemaal om het water in te malen en daar zo goed mogelijk keuzes in maken om dat doel namelijk binnen die beheermarge houden, zo goed mogelijk te bereiken. Dan is ons BOS ook een soort gebiedsregeling, het gebied het boezemsysteem, daar zorgt het voor dat het zo goed mogelijk aan die doelen voldoet, namelijk binnen de beheermarge houden. De definitie is altijd lastig, het gaat er vooral om wat wil je ermee, welk doel wil je bereiken.

### 3. Wat is uw definitie van een beslissingsondersteunend systeem?

Een systeem dat de beheerder ondersteunt om kunstwerken optimaal in te zetten voor 1 of meer waterbeheerdoelen.

### 4. In mijn thesis ga ik mij bezighouden met gebiedsregelingen. Ik ga kijken naar 3 scenario's: reguliere omstandigheden, extreme neerslag, en een langere periode van droogte. Kent u projecten waar er gebruik werd gemaakt van een vergelijkbare werkwijze?

Wat je eigenlijk doet is een systeem inzetten voor een bepaald doel. Stel, ik wil zorgen dat deze het peil binnen bepaalde marges houdt, dat moet die doen voor heel veel verschillende situaties. Voor neerslag, voor droogte, voor lange droogte, voor extreme neerslag. Dus je moet een beetje een beeld krijgen van in welke situaties moet jouw BOS-systeem zijn werk gaan doen. Als voorbeeld onze peilbeheerders, de uiteindelijke keuze van zet je het op het BOS of niet, ligt bij de peilbeheerder. Dus de peilbeheerder blijft in charge, die heeft de lead of het BOS in werking gaat of niet. De uiteindelijke eindverantwoordelijke, in die zin, is de peilbeheerder. Het is een ondersteunend systeem. De peilbeheerder is degene die er uiteindelijk voor kiest in welke range dat BOS-systeem aan gezet wordt en in welke range niet. Dan moet ook duidelijk zijn, "wat verwacht de beheerder van dat BOS-systeem, hoe wil hij het gaan gebruiken?" Als voorbeeld voor ons BOS-systeem, zeggen onze peilbeheerders van "als het heel hard regent, er valt bijvoorbeeld meer dan 20-30 millimeter, hebben zij in hun achterhoofd van het zal ook 40 millimeter kunnen worden". Dan willen zij gewoon zelf aan de knoppen zitten om controle te houden, dan willen ze het graag zelf doen. Dan zetten ze het BOS uit en gaan ze met de hand sturen. Om als voorbeeld te geven, de uiteindelijke eindverantwoordelijke is de beheerder, die bepaalt de range van inzet, dat moet je scherp hebben, en dat bepaalt uiteindelijk de situaties die jij als uitgangspunt wil nemen, voor het ontwerp van jouw BOS.

Ik: Een andere collega van u zei ook dat ze vooral naar regulier peil kijken en niet naar extreme scenario's.

Dat is eigenlijk precies hetzelfde als wat ik nu zeg. Zij halen hem van het BOS af op het moment dat er heel veel regen wordt verwacht, als het extreem wordt, willen zij graag zelf controle houden. Dat bedoel ik met de beheerder is in charge, de peilbeheerder heeft de verantwoordelijkheid, die moet zorgen dat het goed verloopt, die heeft het BOS als tool, als hulpmiddel erbij. Zo moet je het een beetje afpellen, van dit is degene die het bepaalt, die bepaalt de range waarin het moet werken, en dat bepaalt uiteindelijk ook als je BOS gaat ontwerpen in welke situaties die moet gaan voldoen.

Ik: Ik dacht eerst, dat het juist slim is, om juist advies te geven bij extreme neerslag, of juist bij droogte.

Dat zal best kunnen, stel dat de peilbeheerder daar veel behoefte aan heeft. Om juist in die situaties ondersteuning te hebben, moet je voor dat ontwerp van de BOS je daar juist op moet richten. Het is helemaal niet gezegd dat zoals wij dat doen bij ████████ dat dat de waarheid is. Wat ik alleen maar zeg is dat de beheerder in charge is, die is degene die met BOS moet gaan werken, hij moet bepalen wat de range is om het in te zetten. Uiteindelijk heeft zo'n BOS een beperkte nauwkeurigheid en betrouwbaarheid. Daar moet je je wel van bewust zijn. Als voorbeeld voor dat BOS-systeem, in 2016 zijn we ermee begonnen, maar nog steeds zijn we bezig het systeem beter te maken, omdat we de nog steeds tegen onvolkomenheden aan lopen, daar zijn we gewoon continu mee bezig geweest, 5 jaar lang, en het is een beetje een illusie om te denken van we maken een BOS-systeem in één keer



volgens deze 'stacks', in één keer goed. Het is complexe materie. Je stelt hoge eisen aan bijvoorbeeld de neerslagafvoer berekening, als er fouten in de neerslagafvoer berekening zitten, bijvoorbeeld hij verwacht 5 m<sup>3</sup> per seconde de komende periode uit de polder en het worden er 6, dan kan de forecast van de sturing van het gemaal nooit meer goed zijn. Dan zit je al een kuub per seconde fout. Dus je moet een beetje realistische verwachtingen hebben, en ook er rekening mee houden dat het gewoon een traject is. Het is heel belangrijk dat de beheerder in charge blijft, die bepaalt de range waarin je het wilt inzetten, en die moet ook echt inzicht hebben in, wat kan het model wel en wat kan het model niet. Bij heel veel neerslag verwachting kun je het model best inzetten, maar wees er bewust van dat foutjes in je neerslag afvoer berekening vertaald worden in peilverandering. Het gemaal wordt dan niet goed ingezet, en alles wat het gemaal tekortkomt, vertaalt zich in extra peilstijging, en wat deze te veel uitmaakt vertaalt zich in peildaling. Daar moet je dan iets voor bedenken, kijken hoe je daarmee omgaat.

5. Welke parameters (chloride, debiet, zuurstof, waterpeil ect.) in het veld kunnen er interessant zijn om beslissingen mee te nemen?

Alle die jij noemt, afhankelijk van de waterbeheerdoelen. Bedenk wel dat feedforward/mpc niet goed mogelijk is zonder betrouwbaar model. Dat maakt anticiperend sturen op chloride en zeker reactieve parameters heel lastig. Hier moet je niet al te hoge verwachtingen hebben. Je kunt vaak wel een feedbacksturing maken o.b.v deze parameters.

Water kwantiteit daar zou je eigenlijk van kunnen zeggen dat is nog relatief eenvoudig. Een waterkwaliteitsmodel is een uitbreiding op het water kwantiteitsmodel. Je moet weten hoeveel water er stroomt om iets te kunnen zeggen over waterkwaliteit. Als je de waterkwantiteit niet goed hebt dan kun je het waterkwaliteitsmodel ook niet goed krijgen. Dus daar begint het eigenlijk mee. Maar dat waterkwaliteitsmodel is nog eens extra complex, want dan komt er nog een keer een vergelijking bij, een diffusie vergelijking, convectie haal je dan uit de waterkwantiteit vergelijkingen. Maar als het reactief is, als je zuurstof hebt, dat reageert ook weer met organische stof, dat reduceert, en je hebt algengroei dat is nog een stap complexer. Als ik al zie hoe complex het is om de neerslag afvoer goed te krijgen, dan moet je je ook bedenken dat het voor kwaliteit nog een slag complexer kan zijn, want dat model zal echt niet beter zijn in kwaliteit. Als je model predictive control, feedforward is, stuur je op wat je verwacht. Als jij hele verkeerde output hebt van je model dan ga je sturing ook helemaal nooit goed werken. De kwaliteit van je model is super bepalend. Als je het op basis van feedback doet, van ik meet hier bepaalde concentraties qua zuurstof, dus het gemaal moet aan, dan heb je het wat makkelijker. Dan heb je een goede meting nodig op de juiste plek en moet je afleiden van, op deze plek moet deze waarde, daar mag het niet boven komen bijvoorbeeld, anders heb je ergens een probleem.

Als je wilt anticiperen. Ik denk dat een BOS juist wordt gebruikt om te anticiperen. We verwachten een bepaalde hoeveelheid neerslag, we willen het juiste moment kiezen om die neerslag af te voeren, of we verwachten dat bijvoorbeeld riolen gaan overstorten, waardoor het zuurstofgehalte daalt. Dat is dan anticiperend, dan wil je van tevoren al wat doen. Dan moet je een inschatting hebben van wat komt eraan aan neerslag, wat betekent dat voor je afvoer, en wat betekent dat voor je zuurstofgehalte. Als het effect van de afvoer en het effect op zuurstof al niet klopt, dan ben je eigenlijk op hele onzekere dingen aan het sturen. Feedback regeling kan ook, dat je zegt van "Als het zuurstofgehalte onder die waarde komt, dan wil ik dat dat gemaal aangaat en het zuurstofloze water kwijt". Dat is een beetje waar de beheerder behoefte aan heeft. Daar moet je over nadenken, wat wil je met het BOS bereiken. Wil je anticiperen, wil je bij wateroverlast alvast berging creëren door je waterpeil te verlagen, dan moet je een feedforward systeem kiezen. Dan moet je alvast kunnen anticiperen op iets wat eraan gaat komen. Dan heb je een model nodig, om te bepalen wat wordt dan die afvoer, of hoeveel berging wil ik dan alvast realiseren.

6. Heeft u voorbeelden van interessante remote sensing technieken, die ook zouden kunnen zorgen voor interessante parameters?

Satellietwaarneming voor begroeiing in watergangen?

Wij gebruiken zelf in ons BOS-systeem niet echt remote sensing dingen. Dat bodemvocht, dat OWASIS, van HydroLogic is ook een soort combinatie van een rekenmodel, een grondwatermodel, met radar. Die gebruiken we nu nog niet in ons BOS maar dat kan wel meerwaarde hebben. Ik zat zelf nog te denken aan de satellietwaarneming in de begroeiing van watergangen. Alleen de

beperking daarvan, dat de frequentie van die satellietwaarneming misschien niet heel hoog is. Als dat zin wil hebben, moet je periodiek, elke 2 weken bijvoorbeeld, dit moeten kunnen volgen. Die begroeiing kan zich best wel snel ontwikkelen.

#### 7. Kent u van voorbeelden van BOS-projecten waar er ook naar de grondwaterstanden was gekeken, wat zijn de voor- en nadelen?

Om de beginvoorwaarde (state) van een neerslag afvoermodel te verbeteren kan het zeker meerwaarde hebben. Met name in gebieden met veel bodemberging is de neerslagafvoer lastig te voorspellen, vooral in het groeiseizoen. Hoe meer informatie er is over de huidige state hoe beter de afvoersvoorspelling en hoe beter de forecast. Dit is een hele belangrijke rww om een bos obv mpc goed te kunnen krijgen! Hier moet dus veel aandacht aan worden besteed.

Als die grondwaterstand heel hoog is, bijvoorbeeld in de winterperiode, in de Hoekse Waard zal dat ook zo zijn, dan is de grondwaterstand in de winter heel hoog, dan komt neerslag heel snel op de afstroming, er is weinig berging in de bodem. Als je dat model 'predictive control' kiest, dat feedforward, en je wilt anticiperen op een bui, dan moet dat model die bui vertalen in een bepaald afvoerverloop in de toekomst. Dat gaat dat model continu doen, bij ons elke 10 minuten, dat is wel heel hoogfrequent, maar kan bijvoorbeeld ook elk half uur, of elk uur zijn. Berekent dat BOS-systeem vooruit met de forecast en met de neerslag die al is gevallen, dit is de afvoer die het de komende uur verwacht, dan kan je het beste het gemaal aan zetten om het peil binnen die marge te houden. Maar dat afvoerverloop is afhankelijk van de hoeveelheid berging die er in de bodem beschikbaar is. Als het heel nat is gaat het heel snel, als het heel droog is zal een groot deel van de neerslag op de bodem vallen. Wat je zelf als zei, van als het heel uitgedroogd is, de toplaag is heel hard, dan infiltreert het misschien niet zo heel goed, dan stroomt het misschien juist alsnog heel snel af. Dat proces moet goed in dat model zitten. Dat neerslag afvoer model moet dat proces, van er valt een bui, dat betekent dit verloop van afvoer, de komende 2 dagen; dat model moet dat vooral goed simuleren, en de grondwaterstand is daar een belangrijke factor in, die bepaalt de berging, en het bodemvocht is ook een belangrijke factor. Het neerslag afvoer model, als je meer informatie hebt over hoe het er nu bij staat, je huidige 'state' noem je dat dan, als je daar goede informatie over hebt, kun je daarmee het neerslagafvoer model waarschijnlijk ook verbeteren. Dat neerslagafvoer model berekent zelf de grondwaterstand, die berekent de afvoer van het water; zoveel neerslag, er verdampt zoveel, berekent de nieuwe grondwaterstand, maar dat zal nooit perfect zijn, want de neerslag is anders dan gemeten, de verdamping is anders dan gemeten, het model is zelf intern onzeker, de parameter schattingen zijn nooit perfect. Je kunt altijd met extra metingen van de grondwaterstand en bodemvocht, die state, de huidige toestand verbeteren en daarmee ook de verwachting van je afvoer als die bui valt. Dat is een hele belangrijke factor, ik denk zeker in de Hoekse Waard, dat is voor een groot deel onverhard gebied, dus dat zal 90% landbouwgrond zijn. De grondwaterstand speelt daar een hele belangrijke rol in die afvoer. Hoe beter je die grondwaterstand in de peiling hebt, de huidige state, hoe beter je de afvoer berekening kunt doen. Dus die grondwaterstand is een belangrijke factor.

Ik: Ik zat te denken, misschien omdat het geen zandgrond is, dat het minder waarde heeft omdat je een kleigrond hebt.

Bij een kleigrond is de grondwaterstand ook belangrijk. Het is niet zo dat dat alleen bij zandgrond zo is. Bij kleigrond kan er ook 30-40 millimeter in de onverzadigde zone worden geborgen. Dat is echt een substantieel deel van zo'n bui van zo'n 50 of 20 millimeter. Eigenlijk wat je heel goed kan doen, is gewoon eens een keer kijken, bij Hollandse Delta zullen ze ongetwijfeld neerslagafvoer modellen hebben, misschien ook wel een grondwater model, pak eens zo'n model zet er eens een bui op, of reken een jaar door, en kijk hoe een bui tot afstroming komt in de zomer en hoe komt die bui tot afstroming in de winter. Dan heb je een gevoel, van dit is het belang van die grondwaterstand. Als je een stedelijk gebied hebt, waar nauwelijks onverhard gebied is, of waar het water niet infiltreert in de bodem hoeft je het niet mee te nemen. Maar als je een gebied hebt als de Hoekse Waard, waar het wel een rol speelt, moet je het wel meenemen. Het belangrijkste voor zo'n BOS-systeem als je met model predictive control werkt, is een goed neerslag afvoer model. Dat is de basis, zorg dat je dat goed hebt. Als je dat goed hebt, dan heb je het proces in handen wat bepaalt waarop jij stuurt, en wat de sturing van jouw kunstwerk gaat bepalen, hoe beter dat model is, hoe beter jij je sturing kan maken.

#### 8. Hoe kan er het best worden omgegaan met de onzekerheid van meteorologische informatie?

Zo lang mogelijk uitstellen van inzet van kunstwerken totdat er voldoende zekerheid is in de forecast. De peilbeheerder zal dat in de praktijk ook doen. Verder zorgen voor goede neerslagmeting die voldoende snel wordt verwerkt. Optimaal is een combi van radar en automatische neerslagmeters. Sowieso goed om goed te kijken naar de sturing in de praktijk en hoe daar wordt omgegaan met dit soort onzekerheden.

Ik: De combinatie van radar en automatische neerslagmeter, zijn dat meters die je in het gebied moet hebben?

Het zijn eigenlijk 2 dingen. Het ene gaat over de forecast. Stel je gaat een BOS-systeem bouwen, waarschijnlijk wil je anticiperen op wat eraan komt aan neerslag. Die forecast is onzeker. Er wordt 10 millimeter verwacht en er valt bijvoorbeeld 5 millimeter. Dat is een substantieel verschil, dat kan het verschil zijn tussen het verschil moet vol aan, of het gemaal moet half aan. Dus als je zegt, er komt 10 aan, en ik zet vooraf het gemaal aan dan trek ik de hele polder leeg, dus dat wil je niet. Wat je gaat doen is dan wachten met de forecast totdat deze wat zekerder is, zodat je zekerder weet hoe je moet sturen. Dat bedoel ik met stel die beslissing uit, en zorg dat die forecast betrouwbaar is, en dan ga je pas echt sturen.

Ik: Als je dan juist laat gaat sturen, ben je dan niet juist te laat?

Dat is precies de afweging. De onzekerheid in de toekomst kan zich vertalen in een fout in je waterstand, een fout in de inzet in het kunstwerk. Maar andersom, als je te laat bent dan heb je ook niet meer de mogelijkheid om vooraf te anticiperen. Dat is uiteindelijk een soort afweging, die ook per BOS-systeem verschillend is. Daar moet je wat ervaring in op doen. Bij Deltares hebben ze 'tree based optimization', dat is een soort methode die ze hebben bedacht. Ze kijken naar verschillende scenario's in de toekomst met een bepaalde bandbreedte van verwachte neerslag, je loopt een aantal van die scenario's af, en je gaat net zolang wachten met kiezen voor een scenario totdat je echt een beslissing moet nemen anders gaat het mis, je hebt geen handelingsperspectief meer. Daar komt eigenlijk het idee vandaan, van stel het zo lang mogelijk uit. Dat zou een manier zijn om met die onzekerheid die je in je forecast hebt om te gaan. Uiteindelijk denk ik dat de uitkomst is, je wacht totdat het wat zekerder wordt, dat is denk ik wat je doet. Nu ook, als je nu de peilbeheerder zou vragen "Hoe stuur jij?", dan zal die ook niet gaan sturen op een bui die over 2 dagen wordt verwacht, die gaat dat nu niet alvast voormalen. Dat is een belangrijke leidraad, van "Hoe gaat dat nu?". Hoe gaat de beheerder er mee om, als die dat straks ook niet meer herkent, hoe die ermee omgaat, dan heb je een probleem. Dat is mijn ervaring bij ons BOS-systeem, als de peilbeheerder niet snapt wat er gebeurt, en het heel anders vindt gaan dan dat hij zou doen, dan moet het wel echt substantieel beter zijn, wil je hem kunnen overtuigen. Mijn ervaring is, ja, die neerslagverwachting is ook heel onzeker, en het is niet voor niks dat die peilbeheerder wacht, die heeft waarschijnlijk al heel veel ervaring in dat gebied, dus gebruik die ervaring.

Ik: Ik hoorde ook dat je in de zomer andere soort buien hebt dan in de winter?

Dat is precies het punt, in de zomer heb je die convectie buien, dan is het warm, dan kan er in één keer een bui ontstaan, van een stevige hoeveelheid neerslag, binnen een korte tijd, maar dat is heel lastig te voorspellen. Die bui valt of in de Hoekse Waard of in [REDACTED]. Waarschijnlijk gaat het regenen maar je weet niet waar, en je weet ook niet precies wanneer. Wat je dan vaak doet is toch wachten tot je wat meer zekerheid hebt. Je gaat niet het water 20 centimeter lager zetten in de polder omdat er een bui kan vallen. Als die niet valt ben je al dat zoete water kwijt, in de Hoekse Waard heb je waarschijnlijk ook wel met verzilting te maken. Dan ben je dat zoete water kwijt en moet je dat allemaal weer met veel water gaan aanvoeren, dus dat wil je zo lang mogelijk uitstellen. Het voordeel van de zomer, de grondwaterstanden zijn dan vaak lager, het gebeurt vaak na een droge periode, en dan kan je ook wel weer net wat meer water opvangen in de bodem.

Ik: Maakt het eigenlijk uit dat het in de zomer heel erg onzeker is, omdat er toch best wel veel droogte is.

Kijk maar terug, wanneer zijn in de Hoekse Waard de wateroverlast situaties geweest, dat was 2013, 1998, maar dat waren allemaal situaties in de herfst, met een neerslagfront wat gewoon een dag lang regen brengt, dat zijn niet de piekbuien die in de zomer vallen. Die situaties zie je waarschijnlijk 24 uur of langer van tevoren aankomen, daar moet je dan tijdig op anticiperen. Die piek buien in de zomer zijn onzeker, maar het risico is ook wat kleiner, omdat er meer berging beschikbaar is. Kijk

goed naar hoe het nu gaat, dat is eigenlijk je leidraad, hoe je het systeem moet maken moet herkenbaar zijn, dat moeten niet persé andere dingen zijn. Je kunt het net iets slimmer maken door te anticiperen. Als je neerslag aan ziet komen kun je er je BOS-systeem mee voeden zodat je net iets langer de tijd hebt om iets te doen, om het gemaal iets slimmer te laten sturen, om te kijken van wanneer is de energie goedkoop, of wanneer is het laag water.

Ik: Die neerslagmeters, daar maken jullie wel gebruik van, dus jullie hadden verschillende neerslagmeters?

Neerslagmeters meten heel lokaal, maar die zijn heel nauwkeurig lokaal. Radar meet vlak dekkend, maar is eigenlijk minder nauwkeurig. Wat ze vaak doen is de radar verbeteren met neerslag meters om een beter radarbeeld te krijgen, om een wat beter vlak dekkend beeld te krijgen. Dat verbeterde radar product, met neerslagmeters verbeterd, zou ik als input voor mijn BOS-systeem gebruiken. Dat bedoel ik met die combie. Die producten zijn gewoon op de markt beschikbaar. Wij gebruiken die van Hydronet, maar er zijn meer aanbieders van dit soort producten, die van Hydronet vinden wij wel prettig, die werken goed. Meteogroup geeft de forecast, geeft de neerslag verwachting, en de metingen kan je van Hydronet gebruiken. Die leveren in feite radarbeeld wat gecorrigeerd wordt. Maar sinds kort hebben onze peilbeheerder de wens, ik zeg het zoals wij het ontworpen hebben, de peilbeheerders wilden uiteindelijk onze eigen meetgegevens gaan gebruiken, toen hebben we onze eigen regenmeters erin gezet. Ik vind het nadeel daarvan dat als zo'n piekbui lokaal op die regenmeter valt, het BOS denkt, dat er een enorme bak regen over een heel gebied heen valt, terwijl het heel lokaal kan zijn. Dat is echt het nadeel van die regenmeters dat het heel lokaal iets meet. Zeker voor zo'n groot gebied als de Hoekse Waard, zal ik dan toch eerder radarbeelden gebruiken.

Ik: Dat Hydronet is dan weer iets anders dan dat Harmonie?

Ja, Harmonie is een forecast, dat is de verwachting. Hydronet is de meting van je neerslag. Het is eigenlijk een radarbeeld, dat is de meting, de gemeten neerslag van de afgelopen periode. Harmonie is een forecast product, dat is een model van het KNMI, die meestal de neerslagverwachting voor de komende 48 uur berekent. Bij Harmonie wordt elke 6 uur een update gedaan, na 6 uur is die verwachting echt heel slecht. Daarom zijn wij overstapt van Harmonie naar MeteoGroup, die geeft elk uur een update, zij doen er nog een soort interpretatieslag overheen, over die modelberekeningen, en daarmee wel betrouwbaarder. Puur Harmonie gebruiken zal ik niet aanraden. Hydronet levert dat WIWB-product, dat is eigenlijk een radar product, met correcties op basis van neerslag meters van het KNMI.

9. Worden er vooral peilmetingen gedaan bij het kunstwerk zelf (stuw, gemaal, inlaat) of worden er ook metingen gedaan in het midden van de polder?

In ons boezemsysteem wordt vooral gestuurd op meetpunten centraal in de boezem omdat daar de waterstanden het verst stijgen en het meest kritisch zijn. Bij gemalen moet bij deze centrale regeling droogval worden voorkomen dus daar moet je ook meten en sturen.

In de Hoekse Waard zal dat ook zo zijn denk ik, de gemalen staan aan de rand. Ergens in het midden van het gebied stijgt het peil, dat ligt het verst van het gemaal af, daar wil je het peil onder controle houden. Dat is bij ons boezem systeem ook zo, op die plek wil je het peil ook beheersen, dat zijn de sturingspunten, dus eigenlijk punten waarop jij het belangrijk vindt dat het peil onder controle blijft. Dat zijn de punten waarop je zo'n BOS-systeem stuurt. Wat je uiteindelijk wil is, met een kunstwerk, een gemaal, het peil beheersen op een plek. Dan moet je kijken hoe goed kun je met een bepaald gemaal, dat peil op die plek beheersen, hoe gevoelig is de waterstand op die plek die jij wil beheersen voor dat kunstwerk, dat is ook belangrijk, dat bepaalt ook hoe goed je daarop kan sturen. Als die meetlocatie totaal ongevoelig is voor de inzet voor dat kunstwerk, dan valt er ook niks te sturen. Dat moet je even goed in beeld hebben hoe werken die kunstwerken door op dat peil. Dat bepaalt ook de plek waar je moet meten, om te bepalen ga ik dat kunstwerk inzetten of niet, heel goed in beeld krijgen hoe werkt het watersysteem nu.

10. Meer data punten (van bijvoorbeeld peilmetingen, chloride gehalten) in de polder vergroot de nauwkeurigheid van de analyse, echter zorgt dit ook voor hogere onderhoudskosten, hoe kan hier het beste een afweging in worden gemaakt?

Ik zou niet besparen op goede metingen eerlijk gezegd. Die zijn essentieel om te kunnen sturen en om te begrijpen hoe een systeem werkt.

Zeker met metingen zou ik niet te zuinig zijn, uiteindelijk van wat weet je van hoe het in het veld gaat, alleen maar op basis van metingen. Als je daarop bespaart weet je minder, en valt er niet te sturen, valt er niet te snappen hoe een systeem werkt. Je kunt allemaal modellen maken en ideeën hebben, maar het blijven allemaal modellen, zolang je geen meting hebt kun je niet vaststellen hoe het precies werkt. Je kunt je model niet kalibreren. Wees ook bewust van de onnauwkeurigheid van zo'n meting. Je kunt zeggen we willen sturen binnen 5 centimeter, maar als die meting zelf al niet die 5 centimeter nauwkeurigheid heeft, dan kun je daar al niet meer op sturen, en dan kan je dat nooit waarmaken, dus je moet ook zorgen voor goede metingen. Die bepalen de nauwkeurigheid de jij kan halen met je sturing.

Ik: Omdat daar veel discussies over zijn, over hoeveel dat kost.

Je kunt die metingen optimaliseren, stel dat 2 meetpunten hetzelfde meten en die in hetzelfde peilgebied staan, die verder volkomen gecorreleerd zijn, als de ene exact voorspelt wat de ander doet binnen een bepaalde bandbreedte, dan kun je er één schrappen, daar kan je wel naar kijken. Maar als ze echt aanvullend zijn en extra informatie leveren zou ik dat gewoon houden. Je moet natuurlijk niet metingen dubbel uitvoeren omdat je weet dat ze hetzelfde meten. Wat je ook kan hebben, is bijvoorbeeld in ons BOS-systeem, stel er valt een meting uit, dan weet je niks. Zo'n BOS-systeem heeft alleen de meting om te bepalen wat te doen. Als het een heel belangrijk systeem is, heel kritisch, dan moet je die meting misschien wel over de hele bandbreedte uitvoeren, om zekerheid te hebben, valt er één uit dan heb je nog een back-up.

11. Aan de hand van welke criteria kunnen het beste de grens/signaal waarden in het BOS-systeem worden bepaald? Gaat hier echt alleen om de grensmarges van het waterpeil?

Welke eisen stellen de verschillende functies? Die vertaal je naar stuurmarges. Voor peilen kijk je naar risico voor wateroverlast (en bergingsruimte, die je wilt behouden om extremen op te vangen) voor chloride naar eisen die gebruiksfunctie zoals landbouw stelt. Ook hier moet je vooral kijken naar de huidige praktijk. Leidt bijvoorbeeld de marges af waarbinnen het peil nu mag fluctueren in verschillende situaties. Bij onzekere verwachting, bijvoorbeeld zomerbuien zal de beheerder de marges smal willen instellen en als het rustiger weer is wat breder. De beheerder is uiteindelijk degene die dat bepaalt. De afweging van bijvoorbeeld chloride versus peil is lastiger, maar een verdringingsreeks ligt wel voor de hand. Dus je stuurt eerst op veiligheid, daarna binnen de oplossingsruimte op kwaliteit, energie etc. Zo werkt bijvoorbeeld rctools 2.

In feite heb je verschillende doelen in het waterbeheer, bijvoorbeeld wateroverlast voorkomen, daar heb je waarschijnlijk in de praktijk ook een bepaalde marge waarop ze sturen, die is ook ontstaan vanuit het verleden op basis van ervaring, dat lijkt me ook een goed startpunt voor zo'n sturingsmarge in het BOS-systeem. De ervaring is vaak heel belangrijk, hoe het gegroeid is in het verleden, dat is al een heel goed startpunt. Marges in chloride worden bepaald, van wat zijn de eisen in de gebruiksfunctie, die zijn heel bepalend voor wat is de kwaliteitseis voor chloride. Die functie bepaalt eigenlijk de eis. Dan moet je voor zo'n BOS-systeem afleiden, van op dit meetpunt moet ik het onder die waarde houden, en dan weet ik dat het in de Hoekse Waard, of dit gebied goed zit. Dan moet je uiteindelijk ook prioriteiten stellen; wat vind je het belangrijkste, vind je het erger dat de chloride gehalte oploopt, of vind je het erger dat het peil uitzakt. Je kan natuurlijk van die dilemma's krijgen, en daar moet je dan in prioriteren. Dat is nog vrij lastig. Stel je vindt vismigratie heel belangrijk, maar er komt zout binnen, wat vind je dan belangrijker, dat die vismigratie doorgaat, of dat het zoet blijft. Stel het peil zakt uit, en ik vind dat zo erg, dit mag echt nooit gebeuren ik ga wat minder goed waterinlaten. Wat vind je erger? Daar moet eigenlijk de gebruiker, de beheerder, een beeld van hebben, van wat geef ik prioriteit. Dat bepaalt uiteindelijk de criteria, maar dat is heel lastig. Uiteindelijk denk ik dat de verdringingsreeks, in de zin van eerst veiligheid, dan landbouw, dan ecologie. Zo'n verdringingsreeks werkt vaak wel duidelijk. Kijk welke dilemma's er nu zijn, en kijk hoe je daar in het BOS-systeem mee om moet gaan. Dat die de keuzes maakt die jij verwacht, die de beheerder belangrijk vindt. Het BOS-systeem dat die keuzes gaat maken. De huidige praktijk is eigenlijk je leidraad.

12. Ik ga tijdens mijn stage kijken naar reguliere omstandigheden, extreme omstandigheden, een droogte, heb je tips hoe je het beste deze scenario's kan definiëren, kijkend naar



randvoorwaarden zoals neerslag, verdamping, chloride gehalte ect? Je hebt bijvoorbeeld voor extreme neerslag bepaalde neerslagbuien met een bepaalde terugkeertijd, en een bepaalde peilstijging, zijn er meer dingen waar je rekening mee kan houden?

Ik zou eerst bepalen in welke situaties het BOS zal worden ingezet. Beschrijf dan a.d.h.v. daarvan een aantal concrete situaties die zich hebben voorgedaan en neem die als voorbeeld voor de uitwerking. Dat maakt het gesprek met de beheerder ook concreet. Zij moeten er vertrouwen in hebben.

De beheerder moet het herkennen straks, dus jij moet als bouwer van dat BOS, weten hoe gaat dat dan nu. Hoe gaat die beheerder er nu mee om, pak een paar situaties uit het verleden, bijvoorbeeld zo'n oktober 2013, dat is misschien een hele extreme, maar pak een droge periode, en bespreek dat met de beheerder van hoe stuur je dan. Welke keuzes maak je, welke dilemma's kom je tegen. Probeer dat goed vast te leggen, dat zijn de situaties waarop je straks je BOS-systeem gaat ontwerpen, op gaat toetsen.

13. Hoe kan er het beste worden omgegaan met het verschil tussen de realiteit en de berekeningen in BOS? Er kunnen bijvoorbeeld onverwachte omstandigheden zijn zoals een duiker die verstopt is, uitval van een stuw, of een kleiner beschikbaar volume in de watergang door oeverplanten of slib.

Bouw alarmen in zodat de beheerder een waarschuwing krijgt als bijvoorbeeld een kunstwerk faalt (gebeurt sowieso neem ik aan...) of als het BOS teveel afwijkt van de werkelijkheid of als peilen te ver oplopen.

Dat BOS is nooit perfect, op een gegeven moment valt er een grote piekbui en niemand heeft hem zien aankomen en het peil stijgt, dan wil de beheerder wel een alarm hebben, hij heeft dan ook in BOS gezet, op de automatische piloot en als ze dan een alarm hebben van het peil is te hoog, moet je ingrijpen.

Ik: Is het dan bijvoorbeeld slim om aan te geven, van hier is geen rekening mee gehouden.

Dat lijkt me heel nuttig, geef de beheerder die dat ding aan en uit zet, die moet goed weten wat de gebruiksaanwijzing is. Wat doet deze wel en wat niet. Het moet geen blackbox zijn. Hoe meer informatie je geeft over wat wel en niet kan, hoe beter.

14. Voor de gebiedsregelingen ga ik sturingsregels bedenken, heeft u tips om de sturingsregels zo goed mogelijk in overeenstemming te laten komen met de mogelijkheden binnen het BOS-systeem?

Kijk goed naar de huidige sturingsregels.

Ik kan het niet vaak genoeg herhalen, ik denk niet dat het BOS een oplossing voor alles is. Zoals het nu gaat moet herkenbaar terugkomen in zo'n BOS-systeem. Je kunt het net wat slimmer maken, net wat slimmer sturen, net wat beter anticiperen, maar de kern, de essentie zal echt niet anders zijn dan nu. Als de beheerder het niet herkent, legt die het opzij en dan doet hij er niets meer mee.

15. Duurzaamheid wordt een steeds belangrijker thema binnen het waterbeheer. Is hier ook naar gekeken bij de ontwikkeling van het BOS-systeem, en zo ja hoe? (Bijvoorbeeld onderwerpen zoals vismigratie of energiekosten)

We hebben die nu nog niet meegenomen. Optimaliseren op waterkwantiteit is al een uitdaging vanwege onzekerheid in neerslag afvoermodel. Maar bijvoorbeeld vismigratie willen we meenemen door een kalender op te geven en energie zou vrij eenvoudig kunnen door periodes met laagwater een voorkeur te geven in de doelfunctie.

We hebben al een experiment gedaan om het optimalisatie model rekening te laten houden met laag water bijvoorbeeld. Eerst goed voor waterkwantiteit hebben en als je daar vertrouwen in hebt ga je

het uitbouwen. Zo'n stapsgewijze aanpak zou ik je van harte aanbevelen, maak het niet te ingewikkeld in het begin, want je raakt echt de draad kwijt.

16. Terugkijkend op de ontwikkelingen binnen BOS, wat zijn de belangrijkste lessen die u heeft meegenomen (waar moet er in het begin goed rekening worden gehouden om er later profijt van te hebben?)

Zorg dat je een voldoende verfijnd neerslag afvoermodel hebt. Zorg dat je data-assimilatie in het ontwerp meeneemt. In het na proces zit de grootste onzekerheid.

Data-assimilatie is eigenlijk dat je een combi maakt van je meting en de berekening. Dat is eigenlijk wat ik net vertelde over die grondwaterstanden. Stel je hebt een meting van grondwaterstanden, bodemvocht, remote sensing, dat geeft een beeld van hoe de situatie nu is. Het model heeft zelf de grondwaterstand berekend, maar daar zit een verschil in. Die assimilatie gaat eigenlijk zeggen van, oke de meting is voor 90% goed, en de assimilatie is voor 30% goed, dus geef meer gewicht aan de meting dan aan het model. Dan corrigeer je eigenlijk de grondwaterstand in het rekenmodel, die ga je dan iets aanpassen, zodat het rekenmodel steeds op het goede spoor blijft. Je gaat het rekenmodel eigenlijk steeds een beetje bij beetje aanpassen aan je metingen om het op het goede spoor te houden.

-----

## 14. Appendix 8 Interview with Van Heeringen, specialist operational water management at a research institute & consultancy firm water sector (24-03-2021)

Introductie over [redacted] en zijn rol

[redacted]

Ik: Wat doet [redacted]?

[redacted]

[redacted]. We zijn erg gericht op beleid; wat moet je doen ten aanzien van klimaatverandering, dat soort zaken. Een derde deel van onze omzet wordt gemaakt in het buitenland, waar we mogen concurreren met de markt. Zolang het om Nederlands geld gaat mag dat niet, maar in het buitenland mag dat wel. We zijn dan ook vaak de specialist; van baggerwerkzaamheden tot en met beleidsontwikkeling.

Ik zit bij het operationele waterbeheer. Het gaat niet over beleidsmatige aspecten van wet- en regelgeving, en welke plannen we moeten hebben, om bijvoorbeeld in 2050 mee te bewegen met klimaatverandering. Operationeel waterbeheer is heel erg in het hier en nu, en eigenlijk de tak van sport waarbij je de weersverwachting probeert te vertalen naar wat er naar verwachting gebeurt met je watersysteem, en hoe je daar op kunt anticiperen. Het varieert van een vertaling van de weersverwachting naar een stukje hydrologie, bijvoorbeeld voor de afvoeren van de Rijn en de Maas en dat gebeurt wereldwijd. De Rijn is typisch een rivier waarbij je niets kunt doen, dus het komt zoals het komt, het gaat zoals het gaat, maar je kunt dit wel uitrekenen. Er valt in directe zin niet te anticiperen, behalve bij de stuw zou je iets kunnen doen, verder eigenlijk niets.

In meer regionale watersystemen, en zeker bij waterschappen, maar ook wereldwijd ten aanzien van reservoirs en stuwdammen valt er doorgaans heel goed te anticiperen en kunnen we inspelen op de weersverwachting. Dat is eigenlijk waarmee we een businesscase maken, waarmee we ons geld verdienen en ons werk doen. Voorheen zag je dat ons beleid op overstromingen en wateroverlast was gericht, maar sinds 10-15 jaar is er steeds meer oog gekomen voor waterkwaliteitsaspecten en droogte, de twee uitersten van nat en droog. Daar tussenin zit het normale beheer, wat in 95% van de tijd het geval is en waar doorgaans nog best nog wel wat te optimaliseren is. Dat zijn vaak een beetje de verborgen optimalisaties, in die zin dat je het eigenlijk best wel goed doet, maar het kan altijd beter, bijvoorbeeld goedkoper; dat je pompt op het moment dat de energiekosten laag zijn, of waarbij je rekening houdt met de hoogte die een gemaal moet oppompen naar buitenwater toe. Als je daar een getijslag hebt en je probeert te pompen bij laag water, dan hoef je twee meter minder op te pompen dan wanneer het vloed is. Als je er rekening mee houdt dan scheelt dat al gauw 20% aan energiekosten, er zijn ook gevallen waarbij dat richting de 80% gaat.

Ik: Ik vroeg me ook een beetje af. Je hebt het BOS-systeem maar je kan het zo ingewikkeld maken als je zelf wilt, en waar ligt dan de grens? Dat je heel veel tijd in iets gaat steken dat helemaal niet rendabel is.

Dat is een hele goede, vooral dat woord rendabel. Je moet heel goed bedenken wat het probleem is wat je hebt, wat het doel is, en welke oplossing je gaat kiezen, zeker bij technuten. Dit speelt nu ook wel bij het Brielse Meer BOS. We zijn heel snel geneigd om met een bepaalde oplossing die je op de plank hebben liggen, daar een probleem bij te zoeken, of een probleem bij te maken, en die

oplossing die we dan hebben toe te gaan passen. Maar we moeten niet een probleem bij een oplossing gaan zoeken. We moeten uitgaan van het probleem dat we hebben, en daar de goede oplossing bij zoeken. In onze tak van sport is dat echt een uitdaging om te voorkomen dat je met te zware modellen aan de gang gaat, het niet nodeloos ingewikkeld maakt, en dat je met veel eenvoudiger beslisregels, tot bijna hetzelfde resultaat komt, simpelweg omdat het zoveel eenvoudiger is, daarmee inzichtelijker is, voor iedereen eenvoudiger te beheren, je moet gewoon voor simpel gaan". In onze wereld is "less is more" een belangrijk adagium.

1. **Wat is uw functie binnen [REDACTED] en wat voor projecten heeft u gedaan gerelateerd aan BOS?**

[REDACTED]  
[REDACTED] We zijn binnen onze groep gericht op operationeel waterbeheer en alles wat erbij komt kijken, allerlei technische zaken, van IT tot en met telemetrie. Dat heeft veel aspecten, en omgaan met onzekerheden m.b.t. de weersverwachting en in de modellen die je hebt.

2. **Wat is uw definitie van een gebiedsregeling?**

Er wordt in de praktijk al decennialang gestuurd door middel van allerlei regelingen, bijvoorbeeld een gemaal, deze heeft in feite ook een regeling in de zin dat er een aan- en afslagpeil is. Soms is die regeling iets ingewikkelder, dan zit er bijvoorbeeld een dag en nacht aan- en afslagpeil in. Vroeger had je goedkope nachttarieven voor stroom. Wat denk ik typisch is voor een gebiedsregeling, is dat je niet meer kijkt naar het object zelf. Een gemaal kijkt naar bovenstroomse waterstanden, maar verder ook naar andere objecten, en mogelijke ook zelfs naar data van andere domeinen, zoals het weer/ weersverwachting. Dat betekent dat je eigenlijk met een soort helikopter view boven je systeem moet gaan kijken. Je kijkt niet meer alleen maar naar individuele gemalen. Je hebt dus niet een regeling op het niveau van het object, maar een regeling die er als een helikopter overheen zit.

3. **Wat is uw definitie van een beslissingsondersteunend systeem?**

Dat kan wel dezelfde definitie hebben; een beslissingsondersteunend systeem is er in een heleboel gedaantes. Een beslissingsondersteunend systeem kan ook zijn dat het puur een informatiesysteem is, naar de peilbeheerders toe, die op het scherm een advies geeft. Uiteindelijk zou je kunnen zeggen zij kijken naar buien radar, de website van het KNMI, naar de weersverwachting. Dan is dat voor hen ook een ondersteunend informatieonderdeel om een beslissing te nemen, en vervolgens met een reminder bijvoorbeeld het streefpeil van de gemalen aan te passen. Dus een beslissingsondersteunend systeem in die zin, kan dan meer een werkprocedure zijn, als ook een volledig geautomatiseerd systeem, waarbij als het ware het denkproces dat wat een peilbeheerder in zijn hoofd heeft, dat ook volledig geautomatiseerd is. Daar werken we natuurlijk ook steeds meer naar toe, dat uiteindelijk zo'n beslissingsondersteunend systeem ook daadwerkelijk gemalen (kunstwerken) gaat aansturen.

Je ziet ook bij de waterschappen dat dit inderdaad behoorlijk breed wordt toegepast. De hoger gelegen waterschappen, zoals in het oosten, de Veluwe, Vechtstromen in principe wat minder concreet te sturen hebben. Zij hebben meer een beslissingsondersteunend systeem, in die zin dat ze de weersverwachting wel door hun model instrumentarium heen halen, zodat ze een afvoerverwachting krijgen, en dat ze daarmee weten welke weersverwachting wordt verwacht. Dit ondersteunt hen in het idee van of we rustig achterover kunnen leunen of alle hens aan dek. Dit is dus wat meer gericht op het tijdig signaleren en het alarmeren voor extreem weer. Terwijl in de meer gestuurde watersystemen zoals in het westen van het land, waar er veel meer kunstwerken zijn, en er veel meer gereguleerd peilbeheer is, veel meer gemalen en spui middelen, dat daar een doorontwikkeling plaatsvindt naar dat soort systemen, die ook daadwerkelijk gevaarlijk weer herkennen, en gaan anticiperen, en daarmee gemalen gaan aansturen.

Dat kan ook weer in heel veel vormen. Dat gemalen concreet worden aangestuurd, dat een beslissingsondersteunend systeem tegen een gemaal zegt 'ga aan' en 'ga uit', tot en met een beslissingsondersteunend systeem dat je het gemaal indirect aanstuurt, en je in een modus werkt

waarbij er wordt geanticipeerd op gevaarlijk weer, dus bijvoorbeeld, ga voormalen. Dan houdt het gemaal er rekening mee of er voldoende voorgemalen is of niet. Je zet als het ware indirect een gemaal aan. Dat is qua architectuur veel veiliger, veel robuuster. Want stel je voor dat er ergens een data lijntje niet werkt, dan heeft dat gemaal nog steeds alle intelligentie op het laagste niveau en dan kan er eigenlijk niets kapotgaan. Hooguit dat het gemaal een keer voor niks gaat voormalen of vergeet voor te malen. Op het moment dat die peilen toch stijgen dan gaat deze alsnog aan.

Ik: Oke, dus het verschil tussen concreet en indirect is dat concreet, die zegt gewoon nu moet je dat doen, en indirect is dat je eigenlijk ook naar andere data kijkt, dat hij het zelf bepaalt.

Ja, en indirect peilsturen is wat wij noemen, via setpoints, een streefpeil. Setpoint is een sleutelwoord, terwijl concreet aansturen, is direct aan/uit. In een stuw zal veel meer de klepstand worden aangestuurd.

4. In mijn thesis ga ik mij bezighouden met gebiedsregelingen. Ik ga kijken naar 3 scenario's: reguliere omstandigheden, extreme neerslag, en een langere periode van droogte. Kent u projecten waar er gebruik werd gemaakt van een vergelijkbare werkwijze? Of is dat helemaal nieuw?

Nee hoor, ik denk dat dat wel het geval is. Jij noemt hier expliciet 3 scenario's, maar dat is denk ik ook om jou thesis een beetje af te kaderen. Om te voorkomen dat je de hele wereld pakt, zijn dit nog behoorlijke projecten. Dat kun je natuurlijk nooit in je thesis compleet dekken. Dus het is goed dat je dit afbakt, alhoewel reguliere omstandigheden, neerslag en droogte, zijn wat mij betreft bijna alles. Wat zou je daar nog buiten hebben?

Ik: Bijvoorbeeld als het heel erg hard vriest, of dat er heel veel wind is, of dat er iets kapotgaat, dat je daar rekening mee moet houden.

Ja, oke dat is goed dat je dat noemt. Maar regulier, ik noemde net geloof ik 95% van de tijd, is het normaal, dat zou ik dus onder regulier scharen. Die 95% is zomaar een slag in de lucht, dat het niet extreem regent en niet droog is. Zeg dat dat inderdaad 95% van de tijd is, dan dek je dus met deze 3 in feite 99% van de tijd, naast storingen, vriezen en andere extremiteiten. Bij extreme neerslag zie je dat wordt geprobeerd te anticiperen, dus voormalen bijvoorbeeld. Overigens is het effect daar meestal niet zo heel groot van, maar dat je in ieder geval wel in de maximale afvoer modus kan komen. Bij periode van droogte, heb je het over water aanvoer, doorspoelen. En bij reguliere omstandigheden heb je het eigenlijk over de combinatie van beiden, om dat dan zo slim mogelijk te doen. Wat je dan vaak hebt is, dat het vandaag bijvoorbeeld regent, en dat er dan een week van droogte is. Je wilt voorkomen dat als het vandaag regent, je dat water gaat afvoeren, en dat je over 3 dagen het water alweer moet gaan inlaten, omdat je het water dat vandaag is gevallen gaat afvoeren. Terwijl in de vorm van wat meer toegestane peilvariatie je kan zeggen van, oke, ik weet dat het de komende dagen droog is, dus het water dat nu gevallen is ga ik niet meer afvoeren, dat gebruik ik al meteen als buffer voor de komende dagen dat het droog is.

En dan de vraag "Kent u projecten?", jazerker, dan zijn ook degene die ik je heb doorgegeven, bij Rijnland, bij Noorderzijlvest, Hollands Noorderkwartier. Ik denk dat van de waterschappen, Rijnland het verst is met de ontwikkeling.

5. Welke parameters (chloride, debiet, zuurstof, waterpeil) in het veld kunnen er interessant zijn om beslissingen mee te nemen?

Ik denk dat dit heel erg samenhangt met het doel, of van je BOS. Wat is het probleem wat je wil oplossen als je wilt optimaliseren, en wat is de benodigde data. Op het moment dat je het alleen maar hebt over het voorkomen van wateroverlast bijvoorbeeld, en tijdig anticiperen, dan doet chloride en zuurstof er niet direct toe, gechargeerd gezegd. Dan kan het mogelijk zijn dat je niet alleen debiet en waterpeil, maar dat je ook de neerslagverwachting meeneemt, en de windverwachting, en de getijdenverwachting. Bij Noorderzijlvest bijvoorbeeld gaat er ook veel onder vrij verval. Die zitten net iets onder NAP qua waterstanden, en die kunnen dus bij laag water onder



vrij verval lozen op de Waddenzee. Eens per maand varieert de getijslag door de maand heen; doortij en springtij, dat soort zaken. Ze hebben dus elke maand een paar dagen dat ze niet onder vrij verval kunnen lozen. Dan willen ze wel van tevoren weten, gaan we die paar dagen als het ware overleven, of moeten we van tevoren al extra laag gaan zitten, of moeten we gaan pompen, dat kan ook natuurlijk in het uiterste geval. Dat proberen ze een beetje te voorkomen natuurlijk want dat kost direct geld. Nu is dat geen probleem, want het gaat allemaal wel goed, maar je wil wel zo goedkoop mogelijk je peilbeheer doen. Afhankelijk van dat soort zaken kies je de parameters die je nodig hebt. Chloride, zuurstof, is veel meer op waterkwaliteit gericht. Bij Rijnland is het van belang dat ze bijvoorbeeld ook goed doorspoelen, aar hebben ze veel last van zoute kwel. Je zit daar in diepe polders, waar veel zout grondwater uit tevoorschijn komt. Ze willen voorkomen dat dat doorsijpelt, bijvoorbeeld richting het bollen gebied. Ze spoelen op een bepaalde manier via de oostkant van hun systeem, langs de Haarlemmermeer, zo naar het Noordzeekanaal, dat betekent dat ze op een flink aantal punten ook de chloride metingen moeten hebben om dat goed te kunnen monitoren en daarop te kunnen anticiperen.

#### 6. Heeft u voorbeelden van interessante remote sensing technieken, die ook zouden kunnen zorgen voor interessante parameters?

Toevallig is dat net een beetje een tak van sport waar we inderdaad op een bepaalde manier druk mee bezig zijn, in die zin dat er inderdaad veel vanuit satellieten wordt gemonitord. In Nederland zie je dat de toepassing zich nu aan het verkennen is op het gebied van droogte, vooral bodemvocht, Met monitoring van droogte proberen we te zien waar bijvoorbeeld illegaal beregend wordt. Er is bijvoorbeeld een beregeningsverbod, dit speelt heel erg in Brabant en in het oosten van het land, dat er wordt beregend uit grondwater. Op een gegeven moment als het grondwater te diep wegzakt, mag dat niet meer, dan wordt er een beregeningsverbod afgevaardigd. Als je dan vanuit de satellietbeelden ziet, van dat perceel was droog, en een dag later is het plotseling nat terwijl het niet geregend heeft, dan hebben ze dus beregend. Dat is dan een eerste signalering en kun je even gaan praten met die mannen daar, dan heb je het meer over handhaving. Ook voor de peilbeheerders dat ze zien dat de toestand van hun gebied toch behoorlijk droog is, is dit meer een bevestiging en een aanvulling dan het databeeld van wat de beheerders in het veld ook al weten. Zij rijden rond met hun auto, spreken de agrariërs en de natuurbeheerders daar. Zij, weten dus dat ook wel, maar het is meer een bevestiging daarvan. Dus daar zijn we een beetje naar op zoek, naar dat soort informatie. Verder zie ik in Nederland niet heel erg wat wij noemen een "use case", een businesscase voor het gebruik van satelliet informatie, ook omdat ze niet vaak genoeg overkomen. We hebben relatief kleine watersystemen, dus dat betekent dat je ook op een hoog tijdfrequentie je beelden nodig hebt. Dag neerslag volumes zijn eigenlijk al te grof om je hydrologische modellen mee door te rekenen, dat moet maximaal, op uur basis bijvoorbeeld.

Maar in het buitenland, bij gebrek aan andere data, zie je dat er wel degelijk gebruik wordt gemaakt van bijvoorbeeld neerslag producten die worden afgeleid uit satelliet informatie. In Canada en Rusland zijn ze bezig met het detecteren van sneeuw- en ijsdiktes. Sneeuwdikte, omdat het nodig is te weten als het in het voorjaar gaat smelten, tot afstroming komt. IJs in de rivieren is van belang om te weten omdat er heel veel gebieden zijn, bijvoorbeeld in Canada, waar overstromingen vooral plaatsvinden als gevolg van ijsvorming in de rivieren. Door ijs neemt de afvoercapaciteit van de rivieren enorm af, dus dat is een heleboel extra weerstand, ook aan de bovenkant. Dan blokkeert als het ware de afvoer en daardoor ontstaan veel overstromingen. De beheerders willen dat weten, dat is iets dat in Nederland totaal niet relevant is.

#### 7. Kent u voorbeelden van BOS-projecten waar er ook naar grondwaterstanden was gekeken, wat zijn de voor en nadelen?

Ik heb zelf geen project waarbij er wordt gekeken naar grondwaterstanden in een BOS. Hooguit dat het wordt gebruikt voor data-assimilatie voor de modellen. Dat de modellen die je gebruikt, de neerslag afvoermodellen betere simulatie resultaten geven.

#### 8. Hoe kan er het best worden omgegaan met de onzekerheid van meteorologische informatie?

Daar zitten inderdaad een heleboel aspecten aan. Wat er bijvoorbeeld speelt is de weersverwachting die wordt gemaakt met weermodellen. Daarvan zijn er een heleboel. Die komen met een bepaalde frequentie met een nieuwe model update. Het KNMI maakt gebruik van het Harmonie weermodel, en die komt eens per 6 uur. Maar de berekening van dat model duurt 4 uur. Dat model begint te rekenen om bijvoorbeeld 0, 6, 12, 18 uur en dan weer 0 uur. Voordat deze klaar is met het sommetje, is het 4 uur verder. Dit model duurt 4 uur om 48 uur vooruit te kunnen rekenen. Voordat wij dan die weersverwachting in ons BOS-systeem beschikbaar hebben is dat nog een half uurtje later, omdat het ook tijd kost om al die data te transporteren. Je loopt 4,5 uur achter voordat je de meest recente verwachting binnen hebt, en die moet je dan nog 6 uur lang gaan gebruiken. In het eerste geval loop je 10 uur achter, qua weersverwachting, terwijl er ondertussen al allemaal andere situaties zich kunnen gaan voordoen. Dat is een probleem waar we altijd mee te dealen hebben, dus dat is niet anders. Die modellen geven nog wel eens de neerslag waar wij in geïnteresseerd zijn, neerslag is in dat soort modellen eigenlijk een bijproduct.

Ik weet niet of je wat meer informatie hebt gekregen over hoe weermodellen precies werken in je studie?

Ik: Ja dat je verschillende opties kan nemen, bijvoorbeeld dat je dan bijna dezelfde startpunten hebt, maar dat je dan hele andere uitkomsten hebt.

Ja precies, de startpositie verstoort als het ware, en dat je daarmee een ensemble maakt, meerdere model runs. Waar ik op doelde is dat een weermodel een energiebalans oplost, vooral in termen van warmte. Uiteindelijk is vocht een bijproduct, tenminste een soort restproduct uit die energiebalans. Daarvan is de neerslag die op het oppervlak valt, op het maaiveld, weer een soort van afgeleide term. Per saldo is dat dus heel erg spitsroeden lopen, om die neerslagterm waar wij in geïnteresseerd zijn goed uit te rekenen. Die weermodellen zijn nog behoorlijk in staat om uit te rekenen dat er regen komt, maar hoeveel regen, dat is voor die weermodellen echt extreem moeilijk. Dat weten die meteorologische instituten, dus die hebben daar weer allerlei correcties op, ook lerend uit het verleden, dus die doen daar allerlei assimilatie technieken bij. Dus wetend dat een weermodel bijvoorbeeld zegt van, het gaat morgen 10 millimeter regenen, terwijl ze in het verleden hebben gezien dat het 10 millimeter is, dan weten ze vanuit de praktijk dat dit eigenlijk altijd 20 is. Dan geven ze uiteindelijk als resultaat 20 door. Toch gaat het nog heel vaak fout. Het weekend hiervoor werd er zaterdag een behoorlijk natte dag verwacht. Er werd er 30 millimeter verwacht bij Noorderzijlvest, door het harmoniemodel. Uiteindelijk is er nog geen 10 millimeter gevallen. Dat is heel vervelend want dan zouden ze dus zijn gaan anticiperen en alvast zoveel mogelijk water lozen op vrijdag, terwijl die neerslag daar niet valt. Dat is natuurlijk doodzonde. Daar hebben al die weermodellen last van. Er zitten meerdere aspecten aan, dat ze last hebben van dat neerslagvolume berekenen, is lastig voor ze. Daarnaast het feit dat ze maar een beperkte update frequentie hebben. Harmonie bijvoorbeeld eens in de 6 uur, maar de ECMWF-verwachting (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) die tot 10 dagen vooruitgaat, komt maar eens in de 12 uur. Harmonie maakt geen gebruik van een ensemble, dus dat is maar één model verwachting; deterministisch heet dat. Die geeft geen indicatie van de onzekerheid. Dat ensemble wordt gebaseerd op de verstoring van de initiële condities. De ECMWF-verwachting heeft wel een ensemble, dus dan heb je iets meer een kwalificatie van je onzekerheid. Dit is de middellange termijn verwachting voor 10 dagen vooruit. Ze maken ook een paar keer in de week een verwachting voor anderhalve maand vooruit. Daarmee kun je dus de onzekerheid in de weersverwachting voor de komende dagen kwantificeren. Het ensemble is in hun geval een set van 50 realisaties en 50 verschillende modelberekeningen, dat is een combinatie van een aantal verstoringen in initiële condities, en soms net een ander model parameter beschrijving van een bepaald proces. Omdat dat een onzeker proces is, doen ze dat op de ene en op de andere manier, dus dat komt uiteindelijk op een ensemble van 50 verwachtingen.

Ik: Wat ik me eigenlijk afvroeg, is dat als je al die verschillende modellen hebt die je kan gebruiken, is het niet slimmer de verschillende modellen te combineren, en dan te kijken; wat zeggen de meeste modellen, in plaats van één model

Harmonie gaat maar 48 uur vooruit, dus dat is ook wel van belang. Als je naar een iets langere termijn wilt kijken stopt Harmonie. Wat we doen bij die ensembles is kijken naar de percentielen. Wat doet het maximum en minimum, maar ook wat doet het 90% percentiel naast het gemiddelde. Gemiddeld is ook maar gemiddeld dus de spreiding kan enorm zijn. Het gaat juist op de kans op extremen, of die wel of niet toenemen en of je daar dan op moet anticiperen. Je moet van dit soort gevallen leren vanuit het verleden; wat zijn de typische triggers waardoor het gevaarlijk wordt, meestal is dat neerslagvolume. Het kan ook neerslag plus afvoercapaciteit zijn, en het wel of niet kunnen spuien. Bij Noorderzijvest hebben ze veel berging in het systeem, ze hebben ook een hele grote afvoercapaciteit, dus dan kan je echt enorm veel regen hebben, zolang ze maar kunnen afvoeren. Als ze niet kunnen afvoeren omdat de spui capaciteit belemmerd wordt doordat het getij ongunstig is, of omdat er heel veel wind afzet is vanuit zee, waardoor de hele Waddenzee omhoogkomt, dan komen ze al heel snel in de problemen. Dan is bij wijze een T=5 aan neerslag, eens in de 5 jaar, wat helemaal niet extreem is, maar in combinatie met bijvoorbeeld een week niet kunnen afvoeren, wat extreem is aan de andere kant, er toch een kritische situatie ontstaat.

**Ik: Dus eigenlijk kan je dus kijken naar meerdere punten, om te bepalen is dit eigenlijk wel een probleem.**

Ja, en dat is dus heel erg specifiek voor een bepaald stroomgebied. Rijnland heeft daar bijvoorbeeld veel minder last van, die hebben eigenlijk niks te maken met de buitenwaterstand, en het getij of wat dan ook, want die moeten toch alles malen. Nu is dat wel indirect, de gemaal capaciteit neemt iets toe als je minder hoog hoeft af te malen, maar dat is marginaal.

**Ik: Welke zou dan het slimst zijn om toe te passen of is dat echt heel erg specifiek?**

Dat hangt dus heel erg af van het gebied. De Eendragt, is dat puur een polder, waar loost die op?

**Ik: Op de Spui en op het Haringvliet.**

Dus daar zit wel een getij op, maar dat is altijd via een gemaal?

**Ik: Ja je hebt dan de inlaten, en via het gemaal gaat het eruit.**

Sommige gemalen zijn eigenlijk een beetje slecht ontworpen, ik weet niet of dat hier het geval is, waarschijnlijk niet. Maar dat inderdaad de gemaal capaciteit fors afneemt bij een extra opvoerhoogte, dus op het moment dat het vloed is, en de waterstand bijvoorbeeld 1,5 meter hoger staat dan bij eb, dat dan de gemaal capaciteit halveert. Dat is wel interessant om eens te achterhalen. Op het moment dat dat het geval is, is het zaak te proberen zoveel mogelijk te anticiperen in periodes van laag water, laag buitenwater op het spui dus, te malen, omdat je dan weet, ik kan mezelf wel rijk rekenen dat ik over de vloed periode heen zoveel gemaal capaciteit heb, maar die gemaal capaciteit neemt erg af. Dus de gemaal capaciteit is dan eigenlijk een functie van de buitenwaterstand, die kan dus soms behoorlijk afnemen. Ik hoop niet dat dat zo is, maar als dat wel het geval is biedt dat ook weer kansen, want dan kan juist dat BOS daar van toegevoegde waarde zijn.

- 9. Meer data punten (van bijvoorbeeld peilmetingen, chloride gehalten) in de polder vergroot de nauwkeurigheid van de analyse, echter zorgt dit ook voor hogere onderhoudskosten, hoe kan hier het beste een afweging in worden gemaakt?**

Ik zit meer aan de kant van hoe meer metingen hoe beter, meer van zet daar maar een extra meetpunt. Onderhoudskosten zijn er zeker, maar die komen niet op onze projecten. Dit is niet helemaal mijn tak van sport. Ik probeer juist zoveel mogelijk meetpunten te hebben omdat er altijd wel eentje uitvalt, maar dan kijk ik niet naar de kosten, dat is gewoon mijn kant van het spel. Vanuit het waterschap geredeneerd is het natuurlijk heel logisch dat ze er wel naar kijken.

10. Aan de hand van welke criteria kunnen het beste de grens/signaal waarden in het BOS-systeem worden bepaald?

Ik denk dat dat allereerst specifiek is. Wat je klassiek ziet is dat er grenswaardes zijn gedefinieerd waarbij puur naar de metingen wordt gekeken, gemeten waterstanden bijvoorbeeld. Terwijl je bijvoorbeeld ook indirecte grenswaardes kunt bepalen, waarbij je zegt ik kijk niet naar de gemeten waterstand, maar ook naar de waterstand die ik verwacht over bijvoorbeeld 2 dagen. Dat is niet iets wat je al kunt meten, maar is een inschatting die je kunt berekenen met al die onzekerheden die je bij punt 8 hebt genoemd. Daar kun je een grenswaarde aan hangen, dus de verwachte waterstand, en daar weer van afgeleid, en dat is denk ik ook wel weer een mooi voorbeeld van wat ik aan het begin zei; 'houd het zo eenvoudig mogelijk'. Die verwachte waterstand is eigenlijk weer direct afgeleid uit de hoeveelheid verwachte neerslag. Dus je kunt ook een grenswaarde hangen aan je verwachte neerslag, dan wel in termen van neerslag intensiteit, dan wel in termen van neerslag volume. Of gewoon het totaal voor de komende 48 uur, en soms dat ook weer in relatie tot hoeveel neerslag er al gevallen is, dat moet je eigenlijk altijd doen. Je kijkt dan naar het neerslagvolume van bijvoorbeeld de afgelopen 5 dagen, plus de verwachting voor de komende 5 dagen. Dat zijn op zich dingen die je heel makkelijk kunt uitrekenen, dat kun je in Excel. Dus daar hoeft je niet een heel ingewikkeld BOS voor te bouwen. In het kader van "keep it simple" dan is dat wel een ding om rekening mee te houden, en verder hangt het dus heel erg af van het doel van het systeem. Kijk je naar dagelijks peilbeheer, kijk je naar waterkwaliteit, dat soort zaken, dan moet je daar natuurlijk ook een grenswaarde aan hangen.

11. Hoe kan er het best worden omgegaan met het verschil tussen de realiteit en de berekeningen in BOS? Er kunnen bijvoorbeeld onverwachte omstandigheden zijn zoals een duiker die verstopt is, uitval van een stuw, of een kleiner beschikbaar volume in de watergang door oeverplanten of slib.

Meestal zie je dat die BOS-systemen op een wat hoger niveau, met een helikopter view naar een watersysteem kijken, en niet persé naar één individuele polder, meestal zijn ze dus ook niet zo ingericht dat ze naar individuele duikers kijken en daar rekening mee houden, ook in het kader van "keep it simple". Want als je al dat soort details gaat meenemen dan moet je dus ook al die informatie weten. Op het moment dat het wel een heel belangrijk kunstwerk is, bijvoorbeeld het gemaal valt uit, moet je dat wel weten inderdaad. Je ziet juist bij de BOS-systemen naast al die aspecten die we nu genoemd hebben, zeker op het moment dat je gemalen echt gaat aansturen, dan moet je juist ook heel veel informatie erom heen weten, en dat is misschien wel de helft van het werk, om ervoor te zorgen dat je ook in periodes van onderhoud, storingen, problemen in de communicatie, dus niet alleen een storing op het gemaal maar ook een storing in de communicatie, op het internet, of dat het BOS-systeem faalt, dat je in al dat soort situaties ervoor zorgt dat er een back up is, en dat er dan uiteindelijk geen gevaarlijke situaties ontstaan.

Ik: Dus je moet heel veel vooronderzoek doen, dat eigenlijk alles een beetje in beeld brengen.

Precies, jij noemt dan het voorbeeld van een duiker die verstopt is, uitval van een stuw, dat zijn voorbeelden die helemaal afhankelijk van de situatie, meer of minder een probleem kunnen opleveren, waardoor bijvoorbeeld het BOS uiteindelijk een verkeerde beslissing zou kunnen adviseren. Dan is natuurlijk ook nog de vraag, in hoeverre de beslissing anders zou zijn genomen in deze situatie. Ik neem aan dat er in dit geval vanuit wordt gegaan dat er een foute beslissing wordt genomen, of in ieder geval een andere beslissing gedaan zou worden, die is dan niet goed. Je moet er dus ook altijd voor zorgen bij een BOS, dat indien er geautomatiseerd is, dat het BOS volledig kan worden overgenomen door een handmatige bediening, zodat een peilbeheerder BOS kan uitzetten en handmatig kan handelen als er een calamiteit is.

12. Voor de gebiedsregelingen ga ik sturingsregels bedenken, heeft u tips om de sturingsregels zo goed mogelijk in overeenstemming te laten komen met de mogelijkheden binnen het BOS-systeem?

Ik denk dat dit ook weer samenhangt met de vraag wat is mijn doel, en “keep it simple”, en daar blijf ik echt enorm op hameren, ook omdat ik vaak zie dat dat vergeten wordt. Dus dat allereerst, en k een stukje van die robuustheid die we bij punt 11 hebben genoemd; altijd zorgen voor back-ups en handmatig, dat zijn echt wel heel belangrijke basiselementen. Binnen dat kader moet je dan vervolgens gaan nadenken; vind ik dat mijn sturingsregels zo goed mogelijk moeten zijn?”. Dat hangt dus heel erg af van het specifieke systeem in dit geval. Ik vind het ook wel moeilijk om dit nu heel concreet te maken.

13. Terugkijkend op de ontwikkelingen binnen BOS, wat zijn de belangrijkste lessen die u heeft meegenomen (waar moet er het begin goed rekening mee worden gehouden om er later profijt van te hebben?)

Toch die robuustheid en back-ups, maar ook het omgaan of in ieder geval bewust zijn van de onzekerheden. Zeker op het moment dat je een BOS-systeem bouwt, waarbij je ook gaat aansturen, en eigenlijk hoogfrequent aanstuurt. Bijvoorbeeld elk kwartier ga je een nieuwe beslissing nemen, en ga je weer een gemaal aansturen, dan moet je je ook goed realiseren dat die weersverwachtingen maar eens in de 6 uur voorkomen, als dan jouw metingen ook maar één keer per dag voorkomen, dan gaat dat niet werken. Zo plat is het, dus op het moment dat je hoogfrequent aanstuurt, moet je ook hoogfrequent databeheer krijgen.

Ik: Maar is dat dan eigenlijk wel mogelijk, om dat nu al te doen? Als je de data eigenlijk niet hebt van het weer, is het dan niet slimmer om nog eventjes te wachten totdat ze die data wel hebben.

Bij de weersverwachting hebben we daar tot heden mee weten te dealen, maar je ziet dus dat er situaties zijn waarbij de weersverwachting zo is dat er nog regen wordt verwacht. Volgens de weersverwachting Harmonie komt er een front over, terwijl ondertussen dat hele front al is opgelost en zich bijvoorbeeld 30 kilometer naar het westen verplaatst heeft. Gelukkig zijn dit wel de uitzonderingen. Dit gebeurt elk jaar wel een paar keer, en daar wordt hard aan gewerkt. Er is een product dat heet radar NowCast, dat is eigenlijk wat je op de buien radar ziet. Dat je voor de komende 2 uur de verwachte neerslag ziet op de buien radar. Het is een plaatje op buienradar, en geen echte data, zonder als het ware de fysieke processen daarachter. Ondertussen is dat nu in Nederland als experimenteel product ook beschikbaar, dat geeft elke 5 minuten een update, daarmee heb je in ieder geval voor de relatief korte termijn, voor het komende uur, maximaal 2 uur, een goede verwachting. Daarmee zijn we juist heel druk bezig om producten te ontwikkelen om die neerslag onzekerheid wat beter in de vingers te krijgen. Los van het omgaan van ensembles, maar juist om ervoor te zorgen dat we dat gat een beetje dichten.

Ik: Waarom kan die wel elke 5 minuten een update geven, is dat dan gewoon veel simpeler?

Ja, dat is veel simpeler, daar zitten heel weinig fysieke processen in, eigenlijk alleen maar een soort indirecte. Het maakt gebruik van, simpel gezegd, een soort machine learning technieken, en image processing, je ziet plaatjes van radarbeelden, die zie je verschuiven, dan herken je een bewegingspatroon daarin, en dat wordt dan doorgetrokken, dat is de meest platte manier van werken. Daar zitten ook processen in zodat buien kunnen groeien, en weer kunnen uitdoven. Met dat product lopen we in Nederland zwaar achter. Een groot deel van de wereld heeft al zo'n radar NowCast. In Nederland begint dat nu te komen, in samenwerking met ons. Een collega van mij heeft dat ontwikkeld, en het KNMI gaat dat nu ook beschikbaar stellen vanaf de zomer waarschijnlijk. Nog wel uitdrukkelijk als experimenteel product. Je ziet dan een stuk aanvullende informatie waarmee je je hele manier van werken in zo'n BOS eigenlijk weer tegen het licht moet houden. De gegeven informatie die ik nu beschikbaar heb, wat kan beter, wat kan anders, hoe moet ik mijn hele beslisboom als het ware optuigen?”

-----



## 15. Appendix 9 Interview with Krol, data scientist at a consultancy firm water sector (26-03-2021)

### 1. Wat is uw functie binnen [REDACTED] en wat voor projecten heeft u gedaan gerelateerd aan BOS?

We hebben bij [REDACTED] een aantal verschillende afdelingen. Ik zit bij de afdeling operationeel waterbeheer. Wij focussen ons op het dagelijks beheer van watersystemen en minder op de extreme situaties. Bij [REDACTED] is het motto "modern waterbeheer is databeheer". We zijn heel goed in het combineren van de domein kennis op het watergebied en onze kennis van IT, en data gedreven werken, om zodoende de keuzes in het waterbeheer meer data gedreven te laten zijn. Ik zit bij de afdeling operationeel, en we doen veel projecten op het gebied van FEWS-systemen. In de praktijk maken we gebruik van beslissingsondersteunende systemen voor het dagelijks gebruik van waterbeheer. Een paar voorbeelden waar ik bij betrokken ben, is het Bosbo Systeem van Rijnland. Het is, denk ik, als je naar BOS-systemen kijkt in Nederland, één van de meest vergevorderde op het gebied van alle verschillende facetten die worden meegenomen en de keuzes die daar gemaakt worden. Het is misschien zelfs al BOS overstijgend. Je zou kunnen zeggen, BOS staat voor beslissingsondersteunend systeem, het systeem bij Rijnland maakt ondertussen ook heel erg zelf de keuzes, misschien nog net wel een stapje verder dan beslissingsondersteunend.

Ook bij waterschap Hunze en Aa's doen we veel, een waterschap in noordoost Nederland rond Veendam. Daar doen we ook een BOS, veel laten draaien van, in dit geval, SOBEK-modellen. We ondersteunen de waterbeheerders door bijvoorbeeld te kijken van; wat zit er in mijn systeem, actuele waterstanden, debiet metingen, ook grondwaterstanden die we meten in het gebied. Dit combineren we met de lange termijn in model voorspellingen, dus de weersverwachting van het KNMI. Op basis daarvan sturen we een SOBEK-model aan om te kijken wat kan ik verwachten in mijn waterbeheer voor de komende 5 dagen.

### 2. Wat is uw definitie van een gebiedsregeling?

Een gebiedsregeling is niet een term die wij persé heel veel gebruiken omdat voor een gebiedsregeling je het hebt over een afgekaderd gebied, dat zou je voor een poldertje of iets dergelijks wel kunnen doen. Naar mijn idee ben je dan heel erg aan het kijken naar hoe je de metingen die je hebt, in een gebied kunt inzetten om waterbeheer van dat gebied te verbeteren.

Ik: Maar hebben jullie er wel eens gebruik van gemaakt, of noemen jullie het dan gewoon anders?

We noemen het gewoon anders, het is wel typisch wat wij doen inderdaad; of je naar hele kleine gebiedjes kijkt, dus individuele polders, of meer de grotere gebieden, dus de boezemsystemen van hele waterschappen of zelfs dat overstijgend, en het samenspel tussen de verschillende waterschappen.

Ik: En echt iets van een kleine polder iets vergelijkbaars, wat ik doe, hebben jullie dat ook wel ergens gedaan?

Ja, bij Rijnland zijn we bezig met een polder lab. Dat gaat over de Vierambachtspolder. Daar focussen we ons op het opzetten van een 'digital twin'; een beschrijving van het hele polder systeem die zo nauwkeurig mogelijk is. Het is heel experimenteel, een soort digitale speeltuin wordt het ook wel genoemd. We kijken naar, wat kunnen we nu allemaal meten, wat kunnen we allemaal meenemen, en welke keuzes kunnen we daarmee maken voor waterbeheer. Dan ben je ook satelliet data aan het denken, misschien het plaatsen van bepaalde meetinstrumenten, om super nauwkeurig de huidige situatie te kunnen meten.

### 3. Wat is uw definitie van een beslissingsondersteunend systeem?

Wat we zien bij waterschappen is dat daar vaak veel kennis is over hoe het watersysteem in elkaar steekt, en er vaak veel keuzes gemaakt moeten worden, zoals; waar zet ik mijn gemalen aan, misschien ook in extremere situaties; pomp ik mijn polder leeg om extra bergingscapaciteit te regelen, zodat als die extreme neerslag komt, er voldoende ruimte is om dat allemaal op te vangen. En een beslissingsondersteunend systeem, moet inderdaad doen wat het zegt; deze moet ondersteunen in het nemen van dat soort beslissingen.

4. In mijn thesis ga ik mij bezighouden met gebiedsregelingen. Ik ga kijken naar 3 scenario's: reguliere omstandigheden, extreme neerslag, een langere periode van droogte. Kent u projecten waar er gebruikt werd gemaakt van een vergelijkbare werkwijze?

Jazeker, ik begeleid nu een stagiair bij ██████████ die voor dat polder lab bij Rijnland een model aan het opstellen is, wat die drie verschillende scenario's: de reguliere omstandigheden, extreme neerslag en droogte, allemaal los van elkaar moet kunnen berekenen. Ik denk dat dat iets is waar veel waterschappen mee worstelen. Zeker op het gebied van hydrologisch modelleren is het vaak lastig om één model te hebben wat voor al die soort verschillende situaties echt goed toepasbaar is, omdat je met verschillende hydrologische processen te maken hebt die dan spelen. Bij droogte heb je bijvoorbeeld met de infiltratiecapaciteit van de grond te maken, dat is een belangrijke parameter die bij droogte speelt, terwijl bij extreme neerslag is die hoeveelheid water die in de grond wegstroomt helemaal niet zo belangrijk. Dan gaat het veel meer om de afstroming van je gebied.

Ik: Kan je dan ook niet kijken naar berging in de grond, als je kijkt naar neerslag?

Ja, maar het stroomt vaak niet snel genoeg in de grond, het helpt natuurlijk heel veel, maar die hydrologische processen die verschillen heel erg, en zeker met een hydrologisch model moet je daar rekening mee houden. Specifiek voor BOS-systemen houden we daar wel rekening mee. Bij Hunze en Aa's bijvoorbeeld draaien we steeds 3 verschillende modellen, die parallel aan elkaar draaien. Eén daarvan is nat, één normaal, en één droog, omdat we van die drie verschillende modellen de uitkomst willen zien, en dan met echte beheers kennis, dus dat wordt door de hydrologen bij het waterschap zelf gedaan. De keuze wordt dan gemaakt van "dat model lijkt mij de meest waarschijnlijke uitkomst op basis van de huidige omstandigheden buiten".

Ik: Oke, dus dit wordt dus best wel vaak gebruikt?

Ja, er zit vaak wel een moeilijkheid in dit soort systemen. Dat je verschillende modellen naast elkaar moet gaan draaien om voor de verschillende situaties een goed beeld te kunnen vormen. Die stagiair die bij ons dat model maakt gaat er achter komen dat het gewoon heel lastig is om een één overkoepelend model te maken wat altijd goed toepasbaar is.

5. Welke parameters (chloride, debiet, zuurstof, waterpeil ect) in het veld kunnen er interessant zijn om beslissingen mee te nemen?

Dat ligt er aan wat je doel is van je beslissingsondersteunend systeem en aan de problemen waar een waterschap mee te maken heeft. Een waterschap zoals WSHD, met veel polders, al het water wat valt moet in feite worden weggepompt, dus dan zijn vooral de beslissingen over waterpeil belangrijke parameters. Wat je verder nog mee moet nemen is de neerslag, zowel de meting als de verwachting, en verdamping die plaats zal gaan vinden. Nu weet ik niet zozeer of zout en chloride problemen, echt een rol spelen bij waterschap WSHD?

Ik: Ja bij de polder waar ik zit wel. Bij de inlaten, daar willen ze niet te veel zout water inlaten, en ook in de polder zit zoute kwel.

Ja precies, dus dan zul je af en toe moeten doorspoelen, dus zoet water inlaten en dat dan vervolgens weer wegpompen, om eigenlijk dat zout een beetje mee te spoelen. Dan zijn inderdaad dingen als zout concentraties ook belangrijke parameters.

6. Heeft u voorbeelden van interessante remote sensing technieken, die ook zouden kunnen zorgen voor interessante parameters?

Ja, als je het over remote sensing hebt, gebruiken we specifiek satelliet data wel eens. Recentelijk heeft bedrijf VanderSat iets gereleased, dat is eigenlijk een verdampingskaart. Het heeft SAT-data, en is voor alle waterschappen beschikbaar. Het is ingekocht door de overkoepelende organisatie van waterschappen. Ik vind dit een hele mooie remote sensing toepassing, waar de waterbeheerder direct wat aan heeft. Het is veel nauwkeuriger dan de verdamping kaart van de KNMI-stations, dat is eigenlijk een beetje het alternatief. Ze gebruiken de metingen van het KNMI om een inschatting te maken van de verdamping over het hele gebied.

We hebben ook wel eens wat gedaan met NDVI, dat staat voor Normalized Difference Vegetation Index. Dit geeft aan hoe groen een bepaald gebied is, dus hoeveel begroeiing er is. Wij hebben dat toegepast bij waterschap Hollandse Noorderkwartier om een inschatting te maken van de hoeveelheid weerstand in de watergang, dus met de gedachte hoe meer plantjes er in de watergang staan, hoe meer weerstand er door je watergang wordt gegenereerd. De hoeveelheid weerstand in je watergang is weer belangrijk om het pendel gedrag van gemalen te kunnen voorspellen of te kunnen verminderen. Als het water minder makkelijk naar het gemaal toestroomt, moet dat gemaal eigenlijk vaker aan- en afslaan, en dat is weer slecht voor het gemaal.

Ik: Dus die pak je er ook nog wel eens bij.

Ja dat was wel echt heel verkennend onderzoek, maar de resultaten waren best wel interessant dus het is wel ééntje die je altijd kunt overwegen.

7. Kent u voorbeelden van BOS-projecten waar er ook naar grondwaterstanden was gekeken, wat zijn de voor en nadelen?

De metingen van grondwaterstanden in je model gebruiken daar ken ik niet zozeer voorbeelden van, maar wel de gemodelleerde grondwaterstand. Wat we veel doen met BOS-systemen is eigenlijk een model operationeel laten meedraaien. Dat wil eigenlijk zeggen van "Het is nu 3 uur, we rekenen nu door voor 2 dagen de toekomst in, op basis van de weersverwachting, en daarmee doen we een soort van inschatting van hoeveel water die de komende paar dagen moet gaan verpompen". Dat model laten we dan steeds operationeel meedraaien dus dan draaien we hem over een uur nog een keer, en dan weer met de situatie die dan is, en dan starten we een uur later. Dat model draait steeds stapje voor stapje mee. Hoeveel afstroming er komt, is natuurlijk afhankelijk van de hoeveelheid vocht in de bodem, dus daar worden wel vaak de grondwaterstanden meegenomen, deze geven een goede indicatie van hoeveel water er ook daadwerkelijk in die boezem terecht komt.

Ik: Oke dus dat model draaien jullie vaker, om de hoeveel tijd is dit?

In de meeste gevallen draaien we dat soort modellen elk uur. De software van FEWS is daar heel geschikt voor, al zijn er zeker alternatieven te bedenken buiten FEWS om, om dat soort modellen elk uur aan te zetten, en dan de data die daarvoor nodig is, dus de weersverwachting, de huidige situatie daarvoor klaar te zetten.

Ik: Kan die computer dat dan allemaal aan, als die data erin zit, of maken jullie daar echt keuzes in, van dan willen we het sneller hebben berekend?

Ja, voor dit soort operationele modellen maken we wel een paar pragmatische keuzes, je wilt als je hem elk uur doorrekent niet steeds een uur laten rekenen, dan heb je de resultaten ook te laat. Dus ja, er worden wel pragmatische keuzes gemaakt om het model zo snel mogelijk te laten rekenen. Bijvoorbeeld bij Rijnland, daar rekent dat model elk uur wel 5 dagen de toekomst in volgens mij, en daar doet die 5 minuutjes over. Dus je moet de afweging maken tussen welke hydrologische processen wil ik echt bevatten in mijn model en welke laat ik buiten beschouwing om de rekenprestatie wat sneller te laten verlopen. Dat is eigenlijk altijd de afweging die je moet maken bij zo'n model.

## 8. Hoe kan er het best worden omgegaan met de onzekerheid van meteorologische informatie?

Ook dat is altijd een moeilijke afweging. Je bent altijd gebonden aan de kwaliteit van de neerslagvoorspelling. Het is gemakkelijk steeds maar onzekerheid op onzekerheid te stapelen, dus je hebt al een onzekere neerslagvoorspelling, die stop je weer in een onzeker SOBEK-model. Daar komt een resultaat uit wat je dan als absolute waarheid moet interpreteren, of waar je al je keuze op wil gaan maken. Ik denk in ieder geval dat hoogfrequent rekenen een goede manier is om daarmee om te gaan. Dat je in ieder geval altijd aan het rekenen bent met je meest recente beschikbare data.

**Ik: Wat noemen jullie dan hoogfrequent?**

Elk uur, of zelfs nog vaker. Een andere wat we weleens doen is ook het toepassen van ensembles. Ik weet niet of dat je iets zegt?

**Ik: Ja, dat is met verschillende beginpunten toch?**

Ja precies, sommige weersverwachtingen komen in ensembles, dus die geven eigenlijk niet één neerslagvoorspelling, maar wel 10 of 50 verschillende neerslagvoorspellingen, en dan rekenen we die allemaal los door, dan krijg je een aantal waterstanden, debietvoorspellingen eruit. Dit resulteert in een soort pluim met een range aan mogelijke situaties. Je ziet dan vaak aan het begin, dus dicht bij het huidige moment, liggen die nog heel dichtbij elkaar, maar verder in de tijd gaan die verder uiteenlopen. Dat geeft iets meer houvast om in je keuze rekening mee te houden als je niet de perfecte voorspelling hebt.

**Ik: Als je bijvoorbeeld een meetstation hebt in het veld, dat je dan gaat kijken klopt deze voorspelling eigenlijk wel, dat je gaat kijken hoe betrouwbaar is deze beslissing geweest.**

Ja, ook dat is het voordeel van dit soort operationele systemen. Je hebt eigenlijk voor elk moment een model voorspelling, dus je hebt heel veel mogelijkheden tot data validatie. Je kunt direct je voorspelling en je metingen naast elkaar leggen, want als je voor 5 dagen een voorspelling doet, heb je 5 dagen later de daadwerkelijk gebeurde situatie en dan kan je ze zo één op één vergelijken, zeker voor de systemen waar echt keuzes genomen worden. Stel, voor Rijnland verwachten we dat we zoveel moeten gaan verpompen, dat stellen we in, en dan komen we erachter van, we hebben die waterstanden veel te laag gepompt, of we moesten die pompen veel eerder uit zetten dan we van tevoren hadden gedacht. Dan is dat al direct een indicatie dat dat model gewoon niet klopt, of dat er iets anders is misgegaan. Die validatie gebeurt direct in het veld.

**Ik: Dus jullie koppelen daar dus ook vaak wel naar terug?**

Ja, of we echt terugkoppelen, ik denk dat het niet zo expliciet gebeurt, maar je komt er snel achter als je steeds een foute model voorspelling aan het doen bent. De keuze die je maakt, als je daar later achter komt dat dat gewoon niet de juiste keuze zijn, dan heb je heel snel door dat er ergens in het systeem iets fout zit.

**Ik: Maken jullie ook gebruik van meetstations op de grond, bijvoorbeeld een regenmeter?**

Ja weleens, niet zozeer van regenmeters maar wel van waterstandsmeters. De huidige waterstanden in het gebied zijn belangrijk voor model input. Regenmeters geven vaak niet zo heel relevante informatie, je begint vanaf de huidige situatie, en dan heb je het over waterstanden en debieten die momenteel gemeten worden, en dat ga je doorrekenen de toekomst in, dus op basis van de weersverwachting.

9. Meet data punten (van bijvoorbeeld peilmetingen, chloride gehalten) in de polder vergroot de nauwkeurigheid van de analyse, echter zorgt dit ook voor hogere onderhoudskosten, hoe kan hier het beste een afweging in worden gemaakt?

Ook daar gaat het weer heel erg om het doel van je gebiedsregeling. De polder waar jij mee te maken hebt zal waarschijnlijk een gemaal willen aansturen. Heeft deze polder één uitvoergemaal, of nog meerdere?

Ik: Je hebt 5 inlaten, en één gemaal, dus het is best wel overzichtelijk.

Ja precies, dus je belangrijkste doel zal zijn hoe kan ik dit gemaal zo efficiënt mogelijk inzetten. Dan moet je je afvragen welke data heb ik daarvoor nodig, en welke informatie is absoluut essentieel om dat gemaal goed aan te sturen. Welke informatie is meer 'nice to have' en zou je nog kunnen verbeteren maar niet echt noodzakelijk, en welke informatie voegt niets toe aan het aansturen. Aan de hand daarvan kan je dat soort meters gaan plaatsen.

10. Aan de hand van welke criteria kunnen het beste de grens/signaal waarden in het BOS-systeem worden bepaald? Gaat het hier echt alleen om de grensmarges van je waterpeil?

Nee, juist zo'n BOS-systeem bied je heel erg de ruimte om misschien iets verder te kijken dan puur je aan- en afslagpeil. Het klassieke waterbeheer is, ik heb een waterstand bij mijn gemaal. Op een bepaald moment zet ik hem aan, dan pomp ik totdat het een bepaald uitslagpeil bereikt, en dan zet ik hem weer uit. Dat is het klassieke systeem. De eerste slimigheid die je daarbij kan bedenken is, er komt nu heel veel neerslag aan, ik zet hem nu alvast aan zodat ik wat ruimte heb in mijn polder om wat meer te bufferen. En dan nog wat slimigheidjes later kan je kijken dat je merkt dat het gemaal meer energie verbruikt als de buitenwaterstand hoog is, of dat je kijkt van soms is mijn energieprijs hoog, soms is mijn energieprijs laag, kan ik dat meenemen om mijn gemaal aan te zetten op het moment dat die energieprijs laag is. Dat zijn de criteria waar je aan kan sturen, dingen meenemen als zout gehaltes. Puur welke andere informatie je nodig hebt, of welke andere verbeteringen je kan doorvoeren in het aansturen van zo'n gemaal.

Ik: Oke, dus je moet echt heel erg breed kijken hierin?

Ja, en ik denk met zo'n BOS en zo'n gebiedsregeling dat bied je juist de ruimte om wat verder te kijken dan puur en alleen het aan- en afslagpeil.

11. Ik ga tijdens mijn stage kijken naar reguliere omstandigheden, extreme neerslag, en droogte, heb je tips hoe je het beste deze scenario's kan definiëren, kijkend naar randvoorwaarden zoals neerslag, verdamping, chloride gehalte ect? Je hebt bijvoorbeeld voor extreme neerslag bepaalde neerslagbuien met bepaalde terugkeertijden en een bepaalde peilstijging, zijn er meer dingen waar je rekening mee kan houden?

Voor neerslag zou je kunnen nadenken over "Wat is extreem in mijn context?". Een vuistregel is dat een gemaal voor een polder 7 mm neerslag in een uur kan afvoeren, in de praktijk wordt daar wel een beetje omheen gefluctueerd. Dan zou je kunnen zeggen, extreem is een situatie waarin er meer dan dat valt. Voor droogte vind ik het nog wel een beetje ingewikkeld. Dan zou je ook nog kunnen doen aan de hand van chloride gehaltes, als het droger is, blijft dat achter. Dat zou je daarmee kunnen doen, maar wat dan goede grenswaardes zijn durf ik zo niet te zeggen. Extreme verdamping is, dat je daar van de extreme zomers misschien wel wat extreme grenswaardes kan hanteren, want zeker de zomers van 2018 en 2019 waren natuurlijk wel als extreem te definiëren.

Ik: Dus dat je bijvoorbeeld kijkt, wanneer zeiden ze dat er een probleem was, wat was er aan de hand?

Ja precies.

Ik: Reguliere omstandigheden zijn ongeveer 95% van de tijd. Dat is best wel breed denk ik, heb je daar nog tips voor hoe je die slim kan definiëren?



Elke reguliere omstandigheid is de omstandigheid dat er geen extreme omstandigheid is. Die situatie dat je niet te maken hebt met een waterstand die buiten de grenzen valt, of een neerslag voorspelling die echt hoog is. Of de andere kant op, een probleem dat je met droogte te maken hebt.

Ik: Oke, dus alles wat niet extreem is moet je pakken.

Ja, zo zou ik dat definiëren. Je hebt verschillende mate van extreem; waar zit die overgang precies, tussen wat is nog extreem en wat is nog regulier.

12. Hoe kan er het best worden omgegaan met het verschil tussen de realiteit en de berekeningen in BOS? Er kunnen bijvoorbeeld onverwachte omstandigheden zijn zoals een duiker die verstopt is, uitval van een stuw, of een kleiner beschikbaar volume in de watergang door oeverplanten of slib.

Je moet het vooral zien zoals BOS al zegt, ondersteunend. Dus het is geen vervanging van de kennis van de peilbeheerder, en van de hydrologen van het waterschap. Zeker als je het over een BOS hebt, dat gaat zelf geen keuzes maken, maar moet hydrologen en peilbeheerders ondersteunen met het maken van dit soort keuzes. In de praktijk zal dat soort kennis inderdaad van een duiker zijn die verstopt is. Je komt daarachter omdat je ziet dat het model resultaten geeft en die van de werkelijkheid lopen ver uit elkaar. Of ik wil steeds mijn gemaal aanzetten maar het peil is altijd heel laag, dus dat soort verschillen kun je met zo'n BOS juist makkelijk detecteren, en dan zou je misschien ook kunnen gaan zoeken, hoe kan ik dat soort omstandigheden ook juist in mijn BOS opnemen. Misschien zet ik een tweede model in mijn BOS waarbij je kan kiezen van, "ik zie dat in de zomer de waterplanten in deze watergang extreem veel toenemen, ik zet er een tweede model in wat de doorstroomcapaciteit van dat soort watergangen vermindert". Dus ook in het gebruik van een BOS kan je leren en het interactief een beetje verbeteren.

Ik: Oke, dus je moet kijken, van wat wil ik verwerken in mijn model, zodat je ervan tevoren rekening mee houdt.

Ja, dus je moet het neerzetten van zo'n BOS niet zien, als een "Je zet een project neer en aan het einde daarvan heb ik een BOS, en dan zijn al mijn beslissingen ondersteunend". Maar je moet het zien van je gaat het langzaam opbouwen en uitbouwen, en het is eigenlijk nooit klaar want er zijn altijd wel weer verbeteringen die je kan doorvoeren. Er komen de laatste tijd als een gek nieuwe dataproducten die je kan gebruiken, je hebt remote sensing satelliet data, verbeteringen zijn altijd nog wel te bedenken.

13. Voor de gebiedsregelingen ga ik sturingsregels bedenken, heeft u tips om de sturingsregels zo goed mogelijk in overeenstemming te laten komen met de mogelijkheden binnen het BOS-systeem?

Dat soort sturingsregels wil je echt opnemen in je BOS?

Ik: Ja wat ik wil, ik ga natuurlijk met gebiedsregelingen werken, ik zit er nu over na te denken om aanbevelingen te geven, dus dan is het slim om dit en dit te doen, of in die situatie moet je de stuw omhoog zetten, dat soort dingen eigenlijk.

Als je het over een BOS hebt dan ga je dat niet automatisch uitvoeren maar ga je dat vooral als advies geven. Bedoel je, hoe wil ik het advies presenteren?

Ik: Je kan wel allemaal dingen bedenken maar misschien is dat wel helemaal niet mogelijk in het BOS-systeem, hoe doe je dat slim, dat het niet te complex wordt?

Eén van de dingen die we doen, is bijvoorbeeld optimalisatie, dat is wat we veel toepassen bij Rijnland. Daarvoor hebben we ook bepaalde software, RTC-tools, wat door ██████ is ontwikkeld.

Dan zeg je in feite, ik ga niet zelf de sturingsregels bedenken, maar ik ga mijn model een bepaalde vrijheid geven, van hoe ik bepaalde gemalen, stuwen en bepaalde inlaten in kan zetten, om aan mijn doel te voldoen. Dan kan je doel zijn; je chloride concentratie op peil houden, je waterstand binnen de bandbreedte houden en dat soort dingen. Dan kiest het model zelf de ideale inzet van je inlaten, gemalen, stuwen, op basis van de doelen en de bandbreedtes die je meegeeft.

Ik: Oke, dus dat is eigenlijk een stapje verder?

Ja, dat is best wel een stapje verder. De eerste stap is al die informatie inzichtelijk krijgen, wat zijn nou mijn bandbreedtes en de data die ik heb. De optimalisatiestap is nog wel een tweede. Je kan alles proberen te vatten in sturingsregels maar daar maak je het jezelf onnodig moeilijk mee.

14. Terugkijkend op de ontwikkelingen binnen BOS, wat zijn de belangrijkste lessen die u heeft meegenomen (waar moet er in het begin rekening goed rekening mee worden gehouden om er later profijt van te hebben?)

Ik denk dat het belangrijk is om te beginnen met een duidelijk doel; welke beslissing wil ik kunnen vergemakkelijken met het systeem dat ik hier ga neerzetten. Houd dat ook in de ontwikkeling steeds in het oog, dat je niet allerlei randzaken aan het betrekken bent die eigenlijk je doel niet meer ondersteunen. Zeker als je je gaat begeven in de wereld van alle databronnen, open datasets die beschikbaar zijn, dan kan je heel makkelijk gaan denken van "Oh dit is ook nog leuk, kan ik ook nog meenemen", maar dat voegt misschien heel weinig toe aan hetgeen wat je nou daadwerkelijk aan het doen bent. Het tweede punt; doe het iteratief, zet het niet op als een project, dat je er een einde aan breidt en dan zegt "Nu is het er, en het is klaar", maar houdt er gewoon rekening mee dat je iets neerzet en het steeds verder gaat uitbreiden. Misschien niet dat het nooit klaar is, maar dat je het gebruik van het systeem wil gaan leren, en het steeds op die manier wil gaan verbeteren.

-----

## 16. Appendix 10 Interview with Loos, advisor & product manager at a consultancy firm water sector (24-03-2021)

### 1. Wat is uw functie binnen [REDACTED] en wat voor projecten heeft u gedaan gerelateerd aan BOS?

Ik ben eind [REDACTED] afgestudeerd in Utrecht, specialisatie richting hydrologie, destijds ook een aantal vakken gedaan bij ruimtelijke informatica. Dat was de vakgroep informatica omdat ik ook de software wel interessant vond, een beetje de combinatie van waterbeheer en ICT, dat vond ik het meest interessant. Begin [REDACTED] ben ik bij [REDACTED] begonnen. In de beginjaren heb ik zelf veel software ontwikkeld voor waterschappen, en de belangrijkste projecten in het begin waren BOS-projecten, beslissingsondersteunende systemen voor waterschap [REDACTED], waterschap [REDACTED] [REDACTED], waterschap [REDACTED], dat is tegenwoordig [REDACTED]

Onze directeur en [REDACTED], is al in de jaren 90 gepromoveerd op het onderwerp van beslissingsondersteuning en real time control. Toen ik bij [REDACTED] begon had hij al heel veel kennis op dat vlak, en zijn we met dat bedrijf, toen net opgericht, begonnen om die kennis naar de praktijk te brengen. Toen was het vooral nog wetenschappelijk onderzoek, en wij wilden de stap zetten naar operationele systemen die voor waterschappen ook echt gingen werken. In de latere jaren, want ik ben gestopt op een gegeven moment met zelf software te ontwikkelen, en ben wat meer de waterkant opgegaan, word ik nog steeds veel door de waterschappen gevraagd als projectleider, voor projecten waarin BOS-systemen worden ontwikkeld. Tegenwoordig wordt dat gedaan met software van bijvoorbeeld [REDACTED] en het FEWS-systeem, daar heb je misschien al van gehoord.

Ik: Ja inderdaad

En vragen waterschappen mij om op te treden als projectleider namens het waterschap, waarbij dan andere bedrijven of [REDACTED], het systeem implementeren, dat vind ik nog steeds heel erg leuk om te doen, want dan kan ik inhoudelijke kennis kwijt, ik vind het nog steeds het meest interessante type project eigenlijk, dus vandaar dat ik daar al geruime tijd mee bezig ben.

Ik: Is dat dat dan meer een leidinggevende rol, is dat meer dat je nog helemaal in de materie duikt?

Je kunt dat eigenlijk niet los van elkaar zien. Het is vaak zo dat ik wel dan de projectleiding doe, leidinggeven aan een team bijvoorbeeld, maar omdat het best wel een heel inhoudelijk werkveld is, heel specialistisch, helpt het veel als je zelf kennis van de inhoud hebt. Ik zit niet zelf aan de knoppen wat betreft het maken van dat soort systemen, maar wat je wel ziet is dat eigenlijk de concepten, daarachter die zijn net zo goed als van Arnold al in de jaren 90 en eigenlijk al in de jaren 80. Ideeën van centrale sturing en regelingen enzovoort, zijn al heel oud, dat verandert ook niet zo veel eigenlijk, het is meer dat de software verandert. Ik weet niet meer precies de laatste functies in FEWS maar ik snap nog steeds waar de uitdagingen zitten. Daarom vragen klanten mij vaak specifiek omdat ze weten dat ik de inhoud nog voldoende ken om goed leiding te geven aan die projecten.

### 2. Wat is uw definitie van een gebiedsregeling?

Een gebiedsregeling zie ik eigenlijk als een vorm van centrale sturing. Je hebt lokale sturing dat betekent dat een gemaal zichzelf regelt op basis van een bovenstrooms peil, of een benedenstrooms peil, dat is lokale sturing. Centrale sturing wil zeggen dat je meerdere objecten zoals stuwen, gemalen enzovoort met elkaar via rekenregels verbindt, we sturen niet individueel op een lokaal peil maar gaan het gezamenlijk proberen met een regeling om hiermee de waterstand in een gebied op orde te houden. Dat betekent dat je het eigenlijk hebt over meerdere objecten die gezamenlijk een regeling hebben, één of meerdere, dat is wat mij betreft de essentie. Dan heb je nog de mogelijkheid dynamische sturing te maken, dat zou betekenen dat je daadwerkelijk ook prognoses gaat

meenemen, dus weersverwachtingen enzovoort. Dan kom je eigenlijk een beetje in het domein van het BOS-systeem. Er zit nog wel een stap tussen. Gebiedsregelingen zie ik in de praktijk toch wel een beetje als reactief. Op basis van een meting hier, en een meting daar, gaat dat gemaal aan en die stuw omhoog. Dat is op basis van metingen. De overstap naar dynamische sturing, en zo'n BOS-systeem, zie ik meer als kijken of er nog veel neerslag aan komt of niet bijvoorbeeld, of worden de buitenwaterstanden extra hoog enz., dan ga je nog een stapje verder.

3. Wat is uw definitie van een beslissingsondersteunend systeem?

(al beantwoord)

4. In mijn thesis ga ik mij bezighouden met gebiedsregelingen. Ik ga kijken naar 3 scenario's: reguliere omstandigheden, extreme neerslag, een langere periode van droogte. Kent u projecten waar er gebruik werd gemaakt van een vergelijkbare werkwijze?

Ik zie die gebiedsregelingen vaak een beetje als een opmaat naar uiteindelijk geavanceerdere vormen van sturing. Het eerste wat waterschappen vaak gaan doen zodra ze het waterbeheer willen verbeteren, is overgaan van lokale sturing naar centrale sturing, of zo'n gebiedsregeling. Ik weet dit bijvoorbeeld van het naburig waterschap Rivierenland, dat ligt naast Hollandse Delta, daar begeleid ik op dit moment de ontwikkeling van het BOS-systeem. Ze hebben daar al gebiedsregelingen, maar die worden nog niet zo heel veel gebruikt. Ze gaan nu meteen door richting een BOS-systeem, omdat ze de weersverwachting willen meenemen, en ook meerdere waterbeheerdoelen kunnen bedienen, dus niet alleen peil handhaven, maar ook kijken of het extra energiezuinig kan en kunnen we ook verzilting bestrijden. Dus kijk niet alleen naar "Hoe ga ik zo goed mogelijk bepaalde hydrologische parameters zoals waterstanden of debiet goed houden, maar ook hoe ga ik proberen dat zo energiezuinig mogelijk te doen". Dat overstijgt vaak een gebiedsregeling, zoals ik dat definieer, op basis van lokale metingen die je dan aan elkaar knoopt. BOS gaat energieprijzen meenemen in de afweging, of duurzaamheid en zo min mogelijk CO2. Als er veel aanbod is van groene energie, ga dan alvast gemalen aanzetten, zodat als er dan later een bui valt je alvast wat bergingscapaciteit in je systeem hebt.

Ik: Ik vroeg me af die gebiedsregelingen kan je dat niet soort van zien als de basis, waarmee je dan eigenlijk verder meebouwt in dat BOS-systeem. Die gebiedsregeling die blijf je toch wel gebruiken denk ik?

Klopt, ja ik denk inderdaad dat het een goede opstap is eigenlijk. Je hebt inzicht nodig hoe je gebied reageert en hoe je dat optimaal wilt sturen, en dat is een gebiedsregeling, en daarna ga je door met wil ik het beter kunnen, of ik wil meer kunnen anticiperen. Men heeft het vaak over een beslissingsondersteunend systeem, omdat het zo kan zijn dat die gebiedsregeling het zelf voor dat gebied op orde kan brengen. Maar als je bijvoorbeeld ook, ik weet even niet of dat bij Hollandse Delta ook bij de Hoekse Waard zo is, maar als je zo'n waterschap hebt zoals ██████, met polders en een boezem, dan wil je voorkomen dat iedere gebiedsregeling het voor zichzelf goed doet, dat het zo snel mogelijk zijn water kwijt is, maar dat daarmee de gezamenlijke boezem overbelast wordt, en je alsnog in de problemen raakt. Zo'n BOS-systeem is als het ware overkoepelend, dus dan gaan die gebiedsregelingen vaak over in zo'n BOS-systeem.

Ik: Bij Hollandse Delta, gaat het water gelijk op de rivier ernaast, dus je hebt niet echt een boezem.

5. Welke parameters (chloride, debiet, zuurstof, waterpeil, enz.) in het veld kunnen er interessant zijn om beslissingen mee te nemen?

Dat hangt ervan af, hoe ziet het watersysteem er precies uit. Ik ken het watersysteem in dit geval niet goed genoeg om goed te kunnen adviseren, waar moet je nog meer rekening mee houden. In sommige delen van Nederland is verzilting een belangrijk probleem, dus wil je heel goed de chloride concentraties weten. Maar als je in oost Nederland zit dan is verzilting daar helemaal niet aan de orde, dus maakt chloride eigenlijk ook niks uit. Ik denk dat het vooral goed is om in het gebied te kijken wat zijn de belangrijkste watervraagstukken daar, is dat wateroverlast, zijn dat chloride concentraties, en op basis daarvan kijken hoe kan ik die parametiseren. Problemen met verzilting

kan je koppelen met chloride concentraties, wateroverlast aan het peil. Ik denk dat je hier al de meest belangrijke hebt. Als je nog meer zou zoeken dan zou ik vooral spreken met de gebiedsmensen of de peilbeheerders.

Ik: Ja dat klopt.

Als je met hun spreekt, dan krijgt je vanzelf wel te horen van "Ja, het probleem in dit gebied is begroeiing" bijvoorbeeld. Het is heel lastig denk ik om die te parametriseren, maar ik denk dat als je het daaraan koppelt mogelijk nog meer parameters vindt.

#### 6. Heeft u voorbeelden van interessante remote sensing technieken, die ook zouden kunnen zorgen voor interessante parameters?

Als je het echt hebt over het BOS-systeem, dat is misschien ook nog even die vorige vraag. De meteorologische parameters zoals neerslag en verdamping, die zijn belangrijk als je op een gegeven moment beslissingen moet nemen, en dan met name de neerslag verwachting bijvoorbeeld, dan ga je al richting zo'n BOS-systeem. Dus ik denk dat onder 5 de parameters die daar staan, dingen zijn die je kunt meten. Zodra je dan gaat rekenen in een BOS-systeem of in een gebiedsregeling, is het altijd een definitie kwestie. Ik denk dat je al snel neerslag en verdamping nodig gaat hebben, want je wilt weten, is het dan heel nat of juist droog, en daarvan ook de verwachting. Als je kijkt naar neerslag, wat we meestal primair meten aan de hand van neerslag stations, die waterschappen zelf hebben of die van het KNMI, in combinatie met de neerslag radar, want we kennen allemaal de buienradar. Je hebt in het databeheer ook datastromen die diezelfde radar informatie gebruiken, maar kalibreren met grondstations van het KNMI. Dan heb je per pixel heel gedetailleerd de millimeters neerslag per vierkante kilometer. Dat is heel interessant en echt een verbetering ten opzichte van een neerslag meter in het gebied. Vaak hebben ze dan wel één meter in zo'n gebied, maar dan heb je een punt meting, en de neerslagbronnen die beschikbaar zijn voor het waterbeheer hebben dan een veel ruimtelijk verspreider beeld. Dat is een aanzienlijke verbetering, voor verdamping geldt eigenlijk hetzelfde. Dat heb je ook op de officiële KNMI-stations in Nederland, er zijn er verspreid over het land een aantal. Ze hebben een referentiegewas verdamping, dat is een bepaald getal in millimeters. Je ziet steeds meer met remote sensing, met satellietbeelden wordt bepaald dat je op 250 meter ook een veel gedetailleerder beeld van de verdamping krijgt. Dus dat is dan voor de verdampingscomponent.

Waar wij als bedrijf mee bezig zijn, ook met andere partijen en waterschappen, is een product met actuele bodemberging. De bodemberging is eigenlijk de ruimte die de bodem nog heeft om een bui die valt op te kunnen vangen, dus hoeveel ruimte is er in de bodem om het water te bufferen. Dat is ook een datastroom die beschikbaar is. Misschien is dit ook interessant om mee te nemen, omdat in die bodemberging, en de actuele bodembergingsruimte, al een beetje geschiedenis zit. Als het heel nat is geweest, dan heb je nog maar heel weinig ruimte in die bodem om water op te vangen, terwijl als het een tijdje droog is dan leidt een bui veel minder snel tot wateroverlast. Naast hoeveel regen gaat er de komende dagen vallen, is het ook belangrijk te bepalen wat is eigenlijk voorgeschiedenis geweest "Is het heel droog geweest, of is het heel nat?", en dat bepaalt in grotere mate of er wel of niet een probleem is dan daadwerkelijk de neerslag die nog gaat vallen.

Ik: Kan je dat dan met remote sensing bepalen, want me lijkt me best wel lastig om dat te doen?

Het is een combinatie van remote sensing met modellen die live meedraaien met die beelden. Daar zitten energiebalansen in, het is eigenlijk hetzelfde met verdamping. Verdamping kun je ook niet echt meten met een satelliet maar je leidt verdamping eigenlijk af aan de hand van een energiebalans. Je weet hoeveel zonnestrallen er zijn, simpel gezegd, hoeveel de bodem moet opwarmen, en het verschil daartussen. Naast vele factoren in het model kun je onder andere de mate van verdamping afleiden. Zo wordt dus op basis van remote sensing beelden, verdamping berekend, en als je nog een aantal termen aan die berekening toevoegt, kun je dus ook inzicht krijgen in hoeveel ruimte er nog in die bodem is. Je gebruikt bodemkaarten, landgebruik,



grondwaterstanden real time, en op basis daarvan kun je een inschatting maken, niet alleen hoeveel water verdampt er maar ook hoeveel ruimte is er dan in die bodem.

7. Kent u voorbeelden van BOS-projecten waar er ook naar grondwaterstanden was gekeken, wat zijn de voor en nadelen?

Dan moet ik wel zeggen, dat BOS-projecten bij waterschappen, grondwater nog niet altijd de aandacht heeft die het verdient. Ik weet dat bij veel BOS-projecten grondwater er een beetje simpel in wordt meegenomen, dat de grondwaterstand dat daar niet apart op wordt gestuurd. Dat is nou eenmaal iets wat we mee moeten nemen om te kunnen bepalen hoe nat het is in het gebied. Bij waterschap Rivierenland, dat is één van de waterschappen die nu met BOS bezig is, gaan ze wel een grondwatermodel operationeel laten meerekenen met de dagelijkse praktijk. Ze gaan die actueel berekende grondwaterstanden gebruiken in het BOS-systeem. Dan hebben ze als het ware een apart systeem dat dagelijks de nieuwe grondwaterstanden berekent, en dat willen ze dan operationeel gaan gebruiken, dat rastert als het ware de actuele grondwaterstanden, om het BOS-systeem mee te voeden, zodat die beter in beeld heeft van "hoe hoog zijn de grondwaterstanden nu". De Brabantse waterschappen zijn daar een beetje mee bezig, maar in beperkte mate.

Ik: Kan dat ook liggen aan de grondsoort, van hier zit bijvoorbeeld klei, dus hier heb je er minder baat bij dan als je bijvoorbeeld een zandgrond hebt. Dat ze daar misschien een afweging in maken?

Dat denk ik zeker dat je daar een terecht punt hebt. Bij Rivierenland spelen grondwaterstanden een grote rol. Een waterschap, een beetje midden Nederland dat tussen de grote rivieren ligt. De rivierwaterstanden bepalen in grote mate de kwel druk in dat gebied. Als de rivierwaterstanden hoger zijn, betekent dat ook de grondwaterstanden omhooggaan. Vandaar dat dit bij Rivierenland wat meer speelt. Ik kan me voorstellen bij een gebied als Hollandse Delta dit minder de aandacht heeft, een wat minder belangrijke factor is.

Ik: Ze hebben een beetje een klei bodem, maar ze hebben best wel veel grondmetingen, alleen ze doen er niet zoveel mee. Ze hebben veel data, maar de data wordt niet echt gebruikt. Dus ik dacht misschien ligt dat aan de klei bodem, maar misschien zou je daar ook wel iets mee kunnen, omdat het ook langs een rivier ligt.

Je zou het aan de mensen bij het waterschap kunnen vragen, van wat doen jullie er eigenlijk mee. Met name ook de operationele mensen, dus de mensen in het gebied die verantwoordelijk zijn voor de dagelijkse sturing.

8. Hoe kan er het best worden omgegaan met de onzekerheid van meteorologische informatie?

Wat je l vaak ziet is dat ze meerdere weersscenario's doorrekenen op basis van de weermodellen die er zijn. Je hebt voor de korte termijn vaak weer modellen zoals het Harmonie weermodel wat in Nederland of het KNMI bijvoorbeeld gebruikt. Dat is voor de komende 48 uur, daar heb je één uitkomst, dus dat heeft geen scenario's. Maar wat ze dan vaak ook gebruiken is EPS-verwachting, dat is Ensemble Prediction System. Dat is een weermodel van het ECMWF, een Europees weerinstituut dat in Engeland staat. Dat EPS dat biedt 50 uitkomsten voor de komende 10 dagen, iets grovere resolutie, zowel in de ruimte als in de tijd, en op basis daarvan heb je vaak een beter beeld van de verspreiding en de onzekerheid. Dan zie je dus dat, sommige modelberekeningen voor de komende 10 dagen nergens op slaan, terwijl andere berekeningen het vrij matig houden. Wat er in die BOS-systemen gebeurt, is dat dat wordt omgerekend naar scenario's, dus een minimum neerslag scenario, gemiddeld, en een maximum neerslag scenario, die worden dan doorgerekend. Dan blijft natuurlijk de vraag van "Waar ga je dan vanuit?". Ga je dan het minimum, of het maximum pakken, of is het, het gemiddelde. Dat blijft altijd een beetje de voorkeur van de desbetreffende mensen die die systemen gebruiken. Wij gaan uit van het gemiddelde, we hebben het maximum alleen als we het niet vertrouwen. Eigenlijk blijft het wel hierbij. Vaak wordt de onzekerheid wel in beeld gebracht, en ook dus vertaald naar "Wat betekent dat dan voor de waterstanden?", dan worden die minimum en maximum neerslag scenario's doorgerekend met zo'n systeem, en dat wordt

vertaald naar waterstanden en debieten bij de neerslagsommen. Het is aan de gebruiker van zo'n BOS-systeem, peilbeheerder, om te besluiten "ik ga toch uit van het gemiddelde" of "Ik ga nu uit van het maximum".

Ik: Is het dan bijvoorbeeld slim om en Harmonie en dat EPS te gebruiken, moet je dat dan allebei gebruiken, want de peilbeheerder maken nu bijvoorbeeld gebruik van buitenradar bijvoorbeeld. Is het dan slim om een combinatie van verschillende satellietbeelden te gebruiken?

Ja, ik zou dat wel doen. Harmonie en EPS dat zijn die weermodellen en dat zijn eigenlijk de weermodellen waar iedereen zich in Nederland op baseert. Het KNMI, maar ook buienradar, een weeronline, een meteoconsult, noem ze maar op. Zo'n weermodel moet je voorstellen, is echt supercomplex. Daar heb je supercomplexe computers bij nodig. Er zijn maar weinig plekken in Europa en in de wereld waar die dingen worden ontwikkeld. Wat er dan vaak gebeurt is dat iedereen zijn eigen conclusies eruit trekt. Sommige mensen kijken wat meer naar het ene model, zij kijken bijvoorbeeld meer naar Harmonie, andere mensen kijken meer naar EPS, en hebben dan hun eigen mening erover, en zeggen "Nou, ik vind dat die dit een beetje overschat," maar een ander zegt "Nou, ik vind dat andere model toch ietsje beter". Als je kijkt naar het KNMI, wat toch in Nederland het instituut voor weer is; zij gebruiken voor de korte termijn, dus voor de komende 48 uur, Harmonie. Het is het beste model wat we hebben eigenlijk, om uitspraken te doen over die kortere periode. En voor de middellange termijn, dus een termijn van 2, tot 5, tot 10 dagen vooruit, gebruiken we EPS. Door die 2 te gebruiken heb je eigenlijk het beste te pakken. Meestal volg ik dat ook wel in de BOS-projecten die ik doe en begeleiding bij waterschappen is dit wel de meest gebruikte manier. Het is maar net afhankelijk van het waterschap en het watersysteem. Als je een watersysteem hebt, misschien wel ook in de Hoekse Waard dat heel snel reageert, dan heb je het vaak alleen maar over die korte termijn, dan kijk je ook maar 48 uur vooruit, dan is het eigenlijk toch het beste om het Harmonie model te gebruiken. Er zijn bijvoorbeeld ook gebieden in oost Nederland, met zandgronden en beken enz. Het water dat daar valt duurt een paar dagen voordat het beneden bij een stuw komt; dan kun je beter kijken naar zo'n EPS-model. Het gaat er vooral om wat er gebeurt over 3, 4 dagen. Een beetje maatwerk, kijken naar het watersysteem, en wat past het beste.

Ik: Ik denk dat Harmonie een wat kleinere resolutie heeft dan EPS. Waar ik naar ga kijken is een wat kleiner gebied, denk ik.

Klopt, zou ik daar ook denk ik als eerste vanuit gaan. Als je de vraag zou krijgen van "Ja, maar we willen ook een beetje weten hoe de komende dagen eruitzien, dan zou je dus kunnen kijken naar zo'n EPS-verwachting. Dat is ook logisch, hoe langer je vooruit gaat kijken, hoe meer die onzekerheid een rol gaat spelen. Vaak op de korte termijn lukt het best goed om het weer te voorspellen, maar als je het over 5 dagen wilt voorspellen dan heb je al een beetje te maken met onzekerheid, dan geeft de EPS je weer wat meer informatie.

9. Meer data punten (van bijvoorbeeld peilmetingen, chloride gehalten) in de polder vergroot de nauwkeurigheid van de analyse, echter zorgt dit ook voor hogere onderhoudskosten, hoe kan hier het beste een afweging in worden gemaakt?

Dat is moeilijk in algemene termen te zeggen. Als je een simulatiemodel maakt van het gebied, ik weet niet of je dat hebt. Een SOBEK-model heb je dat?

Ik: Ja, dat hebben ze al.

Het is goed om te kijken hoe reageert zo'n gebied en waar zit de meeste dynamiek in waterstanden, of wat dan ook. En op basis daarvan te kijken waar zijn de logische plekken om meetpunten neer te leggen, als je nieuwe meetpunten gaat installeren. Vaak is het zo, ik weet niet de situatie bij Hollandse Delta, maar dat dat soort meetpunten in het verleden heel praktisch werden neergelegd, daar waar een telefoonkabel lag, werd een meetpunt neergelegd. Vroeger had je niet overal in het gebied GSM, mobiele telefoonbereik, en dan was het van "daar loopt een telefoonkabel, bij dat

gemaal, dat betekent dat we daar dan ook een automatische meter kunnen installeren, en die kan dan ook het signaal weer teruggeven. Dus de meetpunten werden niet persé op de meest logische plekken gelegd, vanuit het waterbeheer oogpunt, maar meer van wat überhaupt haalbaar was. Tegenwoordig is dat natuurlijk anders en kun je makkelijker nieuwe meetpunten in het gebied gebruiken. Nu zou ik kijken van "waar zit de meeste beweging als het ware in het watersysteem, als er een bui opvalt, heb ik daar dan metingen in de buurt, en zijn die representatief, of mis ik daar nog wat?" Ik kan niet goed verklaren vanuit het model wat er met het gebied gebeurt, dan zou je kunnen zeggen dat daar een extra meetpunt nuttig kan zijn.

#### 10. Aan de hand van welke criteria kunnen het beste de grens/signaal waarden in het BOS-systeem worden bepaald?

Wat voor grens- of signaalwaardes kom je dan nu tegen, wat hebben ze al?

Ik: Bijvoorbeeld dat het waterpeil niet meer zoveel mag stijgen, dan gaat de stuw omhoog of dan gaat de stuw omlaag, of dat het waterpeil omhooggaat bij het gemaal, dan gaat die harder draaien dat heeft die een hoger toerental. Dat soort dingen. Dan heb je bijvoorbeeld ook nog chloride waar je naar kan kijken bij de inlaten.

Ik vind dat een systeem, ook een beetje moet weerspiegelen wat de mensen uit de praktijk kennen. Gebiedskennis is wel heel belangrijk, dus als dat nu de waarden zijn waarop ze sturen, waarop ze moeten ingrijpen, dan zie ik ze die ook voorlopig hanteren. Pas daarna kun je gaan kijken wat voor aanvullende waarden er nog nodig zijn. Dat heeft ook een beetje te maken met belangrijke leerpunten. De aansluiting met de mensen uit de praktijk is echt wel een uitdaging met dit soort projecten. Dat heeft er vooral mee te maken dat, het hele complexe dingen zijn, met modellen en weer en data stromen, noem maar op. Wat een belangrijk risico is bij dit soort projecten, is dat de mensen uit de praktijk het een beetje als een blackbox beschouwen. Een toverdoos, een systeem, waar slimme dingen in staan, maar waarvan ze niet zo goed weten wat het doet. Vandaar dat je voor je begint met dit soort projecten, BOS enzovoort, eerst goed aan te laten sluiten op hoe zij het nu doen, om wederzijds vertrouwen te krijgen. Naar iets wat goed werkt en daarna kijken wat we er nog aan toe kunnen voegen, wat kunnen we nog meer doen, of hoe kunnen we dingen verbeteren. Dit is vaak een heel gevoelig punt he, ze denken dan soms "Ja, gaat die dan straks mijn werk van mij overnemen, word ik dan overbodig?", die angst die zit er nog wel eens. Maar door te zeggen "Het is juist heel belangrijk dat we eerst goed luisteren van wat jullie vinden en hoe jullie het nu doen" en op basis daarvan het systeem eigenlijk trainen. Dat is wel echt een belangrijk advies dat ik je nog zou willen meegeven.

Ik: Dat is inderdaad ook wel een goede, anders dan werkt het natuurlijk niet als er heel veel weerstand is.

Ik heb bij het waterschap de situatie gehad dat de leverancier van het BOS-systeem, een mooie presentatie gaf, metingen en verwachtingen lagen keurig over elkaar heen. Uit een vervolgesprek met medewerkers van het waterschap bleek dat zij de presentatie onvoldoende hadden begrepen en daarmee geen vertrouwen zouden krijgen in het systeem. Daarmee zou het project eigenlijk direct geen meerwaarde meer hebben voor het waterschap.

Ik: Ja, dus dat je ze bij het begin goed meeneemt, en eigenlijk betreft met wat je aan het doen bent.

#### 11. Hoe kan er het best worden omgegaan met het verschil tussen de realiteit en de berekeningen in BOS? Er kunnen bijvoorbeeld onverwachte omstandigheden zijn zoals een duiker die verstopt is, uitval van een stuw, of een kleiner beschikbaar volume in de watergang door oeverplanten of slib.

Wat er gebeurt in de praktijk is gewoon de waarheid, dus je kunt niks doen aan uitval van een stuw. Ik denk dat je er eigenlijk altijd vanuit moet gaan, dat je je gebiedsregeling of je BOS, nooit perfect

zal zijn. En dat je dat duidelijk moet omschrijven, ook aan de mensen die het straks gaan bouwen, of gebruiken moet meegeven. Dit zit er wel in, hier hebben we wel rekening mee gehouden, bijvoorbeeld met onzekerheid in de neerslagverwachtingen en het weer, daar hebben we geprobeerd op deze manier mee om te gaan, met eventuele min, max, enz. Dit soort situaties, zoals een stuw die kapotgaat, dat zit er niet in. Als er zich een afwijkende situatie voordoet moet er een melding komen met 'wees alert', het is nu even niet meer betrouwbaar", of laat een belletje afgaan, in een gebruik scherm van een BOS, let op, er is nu een situatie waarin het systeem, of als regeling geen rekening mee kan houden, even onbetrouwbaar is. Als je dat helder neerzet, wat zit er wel in en wat niet, en dat ook duidelijk communiceert, op het moment dat je het systeem aan het maken bent, en zo'n regeling aan het uitdenken bent. Dat is iets waar mensen met je over in gesprek gaan, "ik vind dat je daar wel rekening mee moet houden". Je kunt kijken als een stuw kapotgaat, vaak zit dat wel in een telemetrie systeem van het waterschap en gaat er wel een alarmpje af, dan kun je dat misschien automatisch meegeven aan de berekeningen in BOS, om aan te geven dat het nu nog niet beschikbaar is. Het begint altijd met transparantie, dat je duidelijk laat weten van tot hoever gaat het systeem wel en niet, wat kan het wel aan en wat niet.

Ik: Oke, zodat je het goed inzichtelijk hebt, zodat de verwachtingen niet te hoog of juist te laag zijn.

Precies.

12. Voor de gebiedsregelingen ga ik sturingsregels bedenken, heeft u tips om de sturingsregels zo goed mogelijk in overeenstemming te laten komen met de mogelijkheden binnen het BOS-systeem?

Ik denk dat het goed is om stapsgewijs dingen toe te gaan voegen. Je begint met gebiedsregelingen, zoals ik ze dan benoem op basis van de metingen die je daadwerkelijk hebt van waterstanden, debieten, concentraties enzovoort, dus dat je daar eerst op studeert, van hoe kan ik daar een regeling opbouwen, wat zijn de belangrijke punten in het gebied die ik mee moet nemen in die regeling. Als je dan gaat doorgroeien naar zo'n BOS-systeem, zijn er meer mogelijkheden die gaan komen. Dan kun je kijken of je het goed in de vingers hebt voor de historie, met metingen, dan kun je goed bijstellen op basis van een te hoge of te lage waterstand. De component neerslag voeg ik toe, dat kan je eerst met alleen de meting doen, en een extra verklaarbare variabele nog meenemen in de regeling, of een stap verder, in neem deze mee in de verwachting, dan ga je echt al richting zo'n BOS-systeem, ik zou dat stap voor stap doen, de complexiteit als het ware toevoegen, en kijken hoever je komt. Op een gegeven moment komt misschien het punt dat je door je tijd bent heen, en het te complex wordt. Je krijgt het niet helemaal compleet, laat ik dan nu daar een grens trekken, en dat heeft dan te maken met het vorige, dus je moet aangeven dit heb ik wel meegenomen, hier houd ik wel rekening mee, maar hier nog niet.

13. Terugkijkend op de ontwikkelingen binnen BOS, wat zijn de belangrijkste lessen die u heeft meegenomen (waar moet er in het begin goed rekening mee worden gehouden om er later profijt van te hebben?)

(Al beantwoord)

-----





inzitten. Met machine learning proberen een voorspelling te maken van het verloop van de grondwaterstand voor de komende twee weken.

**Ik: Waarom wordt er naar grondwaterstanden gekeken?**

Uiteindelijk probeer je zowel voor natuur als voor landbouw, de planten met hun wortels een optimale grondwaterstand te geven.

**Ik: Waterschap Hollandse Delta kijkt meer naar oppervlaktewater in plaats van grondwater.**

Het verschil in gebieden komt hier om de hoek kijken. Hollandse Delta heeft waarschijnlijk meer klei en veengronden. Een groot deel van ons gebied heeft zandgrond. In een zand ondergrond reageert de grondwaterstand veel directer op de oppervlakte waterstanden. Daarmee kun je ook wat directer sturen en heeft het zin om die grondwaterstanden te raadplegen om daar je beslissingen op te baseren van hoe we moeten bijsturen.

### **3. Aan de hand van welke parameters worden er beslissingen genomen?**

De grondwaterstand en de oppervlakte waterstand (GGOR) probeer je binnen de gewenste bandbreedte te houden.

**Ik: binnen mijn gebied vind ik het ook interessant om bijvoorbeeld naar chloride, doorzicht of debiet te kijken**

We meten ook de chloride hoeveelheden op bepaalde plekken die gevoelig zijn voor verzilting. De maatregel die je daar neemt is ouderwets doorspoelen. Je wilt zuinig met water omgaan. Daarom wil je de maatregel zo goed mogelijk inzetten. De noodzaak en de timing wordt gebaseerd op de meting van het chloride gehalte.

**Ik: hoe bepalen jullie dit?**

Dit doen we heel praktisch. Het is vooral van belang op het Eemskanaal. Dat is het kanaal tussen Groningen en Delfzijl. De problematiek die daar speelt is dat er veel scheepvaart is op dat kanaal. Dat gaat naar zee via de sluizen bij Delfzijl. In de sluizen zit een hele grote zout lek. Elke keer als er een schip wordt geschut komt er een grote hoeveelheid zout water het systeem binnen. Daardoor is er een zouttong op het Eemskanaal. We willen voorkomen dat die zouttong zo ver het binnenland in komt dat het in het zoete aanvoer systeem van het landbouwwater komt. Op het kanaal zitten op een aantal punten sensoren. Er wordt gebruikt gemaakt van EVG meters (geleidingsmeters). Aan de hand van die EVG meters kunnen we de zouttong goed in de gaten houden. Er is een bepaalde normhoogte van zoveel millisiemens staat voor een bepaald chloride gehalte. Als dat wordt overschreden gaan we weer doorspoelen.

**Ik: Waar halen jullie je aanvoer van water vandaan?**

In de winter is het vooral neerslag. In de zomer kunnen wij water aanvoeren vanuit het IJsselmeer. Dat komt via Friesland in Groningen. In Groningen is er een compleet irrigatiesysteem. Het water wordt hier helemaal opgepompt tot 8 meter NAP. Dan wordt het weer losgelaten in het gebied, en wordt het hele gebied op peil gehouden in de zomer.

**Ik: Kost dat veel energie?**

Ja dat kost veel energie en water. Uiteindelijk kan het uit omdat we het water aanvoeren, kunnen we de waterstanden op peil houden. Daardoor kunnen we de waterstanden in natuurgebieden en landbouwgebieden bufferen en kunnen de boeren beregenen.

**Ik: Is hier ook een BOS-systeem voor?**

We hebben hier niet een BOS voor maar wel een dashboard. Er is een dashboard gemaakt om de watervoorziening en met name de verdeling. Tijdens de droge zomers komt er best wel een gevecht op gang wie recht heeft op het water. Daar zijn waterakkoorden voor afgesloten. Om de juiste beslissingen te nemen moet de informatie goed op orde zijn, daar wordt het dashboard voor gebruikt. Er wordt gekeken naar de voorspellingen van de waterstand op het IJsselmeer en verschillende beheersgebieden. Er wordt gekeken wie het meeste recht heeft op het water. De afgelopen 3 zomers heeft het waterschap een beregeningsverbod moeten invoeren voor bepaalde gebieden. De sloten kunnen nog net op peil gehouden worden, maar de aanvoer capaciteit van het

irrigatiesysteem vanuit het IJsselmeer kan het net niet meer aan. Om te voorkomen dat het overbelast wordt moet je noodgedwongen in bepaalde gebieden toch een beregeningsverbod afkondigen. Je wilt wel transparant de noodzaak voor die maatregel kunnen onderbouwen.

4. Ik las dat er gebruik wordt gemaakt van meteorologische informatie. Hoe gaan jullie om met de onzekerheid hierin?

Bijvoorbeeld in het systeem voor hoogwater hebben we in verschillende scenario's gedacht als het gaat om de prognose van de waterstanden, afhankelijk van de onzekerheid in het weer. De neerslag voorspelling is vaak het meest onzeker. We geven een maximum, gemiddelde en een minimum scenario.

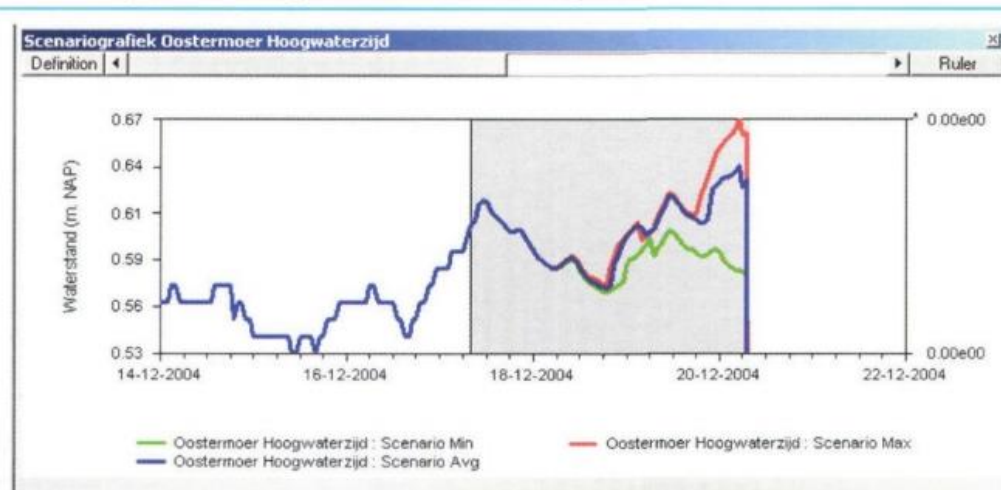
Uitleg plaatje

Op het plaatje staat een bandbreedte. Dan zie je dat de onzekerheid naar de toekomst toe steeds wat groter wordt. Het minimum, het maximum scenario zie je uitwaaien.

- Rood is het maximum scenario
- Groen is het minimum scenario
- Blauw is het gemiddelde scenario

Je ziet een waaier ontstaan. Naar de toekomst toe wordt het steeds onzekerder naar je voorspelling.

Afb. 6: Waterstand zoals gemeten te Oostermoer (Hunze en Aa's) en in het grijze gebied de verwachte waterstanden conform de minimum, gemiddelde en maximum neerslagscenario's.



Figuur 17.1 Geciteerd "Waterstand zoals gemeten te Oostermoer (Hunze en Aas) en in het grijze gebied de verwachte waterstanden conform de minimum, gemiddelde en maximum neerslagscenario's" (van Overloop, Lobrecht, van Norel, & Vos, 2005)

Ik: Hoe bepalen jullie de onzekerheid in de voorspelling?

Voor het hoogwater is het vooral van belang dat er variatie is in de voorspellingen van de neerslag. In de data die wij van het KNMI krijgen, wordt in bepaalde betrouwbaarheidsintervallen aangegeven hoeveel neerslag er verwacht wordt.

- Voor het gemiddelde ga je op de gemiddelde verwachting zitten.
- Voor het minimum ga je bijvoorbeeld op 10% van het betrouwbaarheidsinterval zitten.
- Voor het maximum ga je bijvoorbeeld op 90% van het betrouwbaarheidsinterval zitten.

Ik: Hebben jullie ook gekeken waar het water valt, berekenen jullie de peilstijgingen met SOBEK?

Ja, dat wordt berekend met SOBEK. Er wordt gebruik gemaakt van de neerslagradar. Tegenwoordig is dat heel gebruikelijk, maar toen was dat heel revolutionair.

5. Wordt er in het BOS-systeem gebruik gemaakt van grens/signaal waardes, zo ja hoe werkt dit en hoe zijn deze waardes bepaald?

Bijvoorbeeld voor dat hoogwater systeem. Daar hebben we gekeken naar de fasering uit ons calamiteitenplan. Die fasering is gebaseerd op waterstanden in de boezem, dat is gerelateerd aan de dijkhoogte. Je hebt bijvoorbeeld bij normaal peil een meter hoogte tussen het waterpeil en de kruin van je dijk. Als de waterstand is opgelopen tot een halve meter onder de kruin word je extra alert, en ga je intern opschalen. Dat je met een operationeel team de zaak goed in de gaten houdt. Dan zit je in fase 1 van je calamiteitenplan. Ga je dan een klein stukje omhoog dan neem je maatregelen, en gaan we bijvoorbeeld bergingsgebieden en extra gemalen inzetten enzovoort. Wordt het dan hoger dan moet je dijk inspectie gaan doen. Zo kun je allerlei niveaus aangeven waarbij je maatregelen moet treffen. Qua berging kan je hierdoor net dat stukje inzetten dat je nodig hebt.

6. Terugkijkend op de ontwikkelingen binnen BOS, wat zijn de belangrijkste lessen die u heeft meegenomen (waar moet er in het begin goed rekening mee worden gehouden om er later profijt van te hebben?)

Ik heb heel lang gewerkt aan de voorbereiding van het systeem. Vanaf 2000 zijn we er mee bezig gegaan en in 2005 was het operationeel. Zo'n hoogwater model gebruik je maar heel af en toe. In 2012 was er hoog water en is het systeem in het echt ingezet. Er zijn me een paar dingen opgevallen. Het is heel belangrijk dat de prognoses kloppen. De modellen die er onder zitten moeten wel houtsnijden, anders geloven de mensen je niet meer. Het moet betrouwbaar en nauwkeurig zijn en de ICT die erachter zit moet niet gaan haperen op het moment dat het erop aan komt. Dat moet je goed geoefend hebben. Zowel de machines moeten het goed doen, als de computers en de sensoren in het veld die alle meetinformatie verzamelen. Je krijgt informatie van het KNMI binnen over neerslag hoeveelheden. Dit moet allemaal feilloos gaan. Je krijgt informatie van Rijkswaterstaat binnen over de waterstanden op zee. Dat moet ook allemaal in goede banen gaan. De neerslag radar was nog best wel tricky om goed te verwerken. Dus dat moet ook allemaal kloppen. Het is veel, en tegelijkertijd wil je ook dat het snel is. De spanning steeg tot een kookpunt. Het was best wel spannend met bepaalde dijken. De vraag was toen aan de orde of we bergingsgebieden moesten inzetten of niet. Ze wilden meteen antwoord hebben. Het systeem moet snel rekenen en snel de prognoses kunnen geven. Het waren 3 kernwoorden die mij bijgebleven zijn: betrouwbaarheid, nauwkeurigheid, snelheid.

7. Hoe wordt er omgegaan met het verschil tussen de realiteit en de berekeningen in BOS? Er kunnen bijvoorbeeld onverwachte omstandigheden zijn zoals een duiker die verstopt is, uitval van een stuw, of een kleiner beschikbaar volume in de watergang door oeverplanten of slib.

Tijdens hoogwater zul je zien dat er allerlei sensoren in het veld uitvallen. Dat informatie die je krijgt toch net even anders is. Handmatig wil je dat nog kunnen aanpassen. Daarom hadden we in het systeem wel handigheidjes ingebouwd omdat snel te kunnen aanpassen.

Ik: Wat zijn dat voor handigheidjes in het systeem?

Bijvoorbeeld als je de meetinformatie vanuit het veld m.b.t. de waterstanden invult. Onder de motorkap van BOS zit een SOBEK-model. Dat model moet geïnitieerd worden met de waterstanden van dat moment. Als er een waterstandsmeting niet goed is of niet door komt wil je daar een signaal van krijgen. Dan moet je snel een invulveldje hebben om de waterstand die iemand doorbelt erin te zetten.

Ik: In het systeem kan je makkelijk dingen aanpassen

Klopt. We hadden ook wat handigheidjes ingesteld dat als er bepaalde meetinformatie buiten een bepaald bereik viel, dat er dan een signaaltje kwam. Dit gaf aan "let op, klopt dit wel?".

Ik: Hadden jullie ook veel mensen buiten lopen, die dit checkten?

Jazeker, tijdens hoogwater hebben we veel mensen op de dijken lopen die de waterstanden en de dijken in de gaten houden. Je kunt altijd even iemand bellen om een bepaalde waterstand te checken die je niet vertrouwt.

Ik: Dat lijkt me het gevaar, dat je iets hebt berekend in BOS maar dat het dan helemaal niet meer klopt met de werkelijkheid.

Er zijn best wel veel mensen bij ons bij het waterschap die zeggen, het is mooi dat je zo'n BOS hebt, maar zonder moet je het ook kunnen en je moet in ieder geval de ogen en oren in het veld hebben.

8. Ik las dat er gebruik wordt gemaakt van digitale kaarten, wat voor informatie wordt hierop getoond en wat voor soort data is hiervoor nodig?

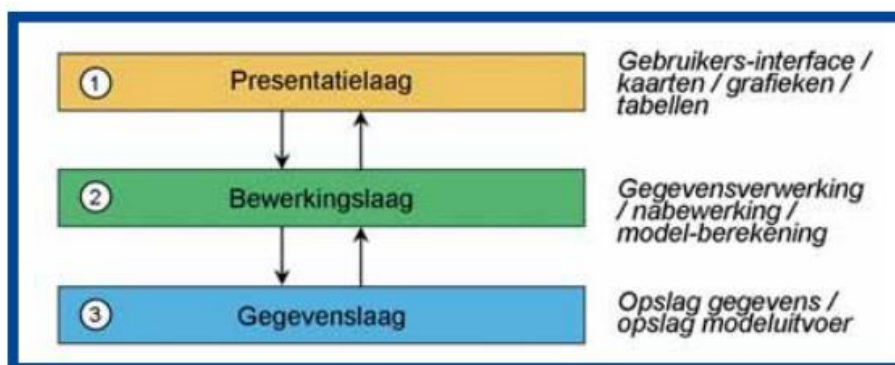
In het artikel ("Nieuwe beslissingsondersteunende systemen voor het operationele waterbeheer het operationele waterbeheer" (Loos, van Norel, Esenbrink, & Lobbrecht, H2O)) hebben we het over een interactieve presentatiekaart (verwijzing). Het idee dat we daar destijds bij hadden is, dat als het echt spannend wordt we allemaal bijeenkomen bij de veiligheidsregio. Dat is op een andere plek dan het waterschapshuis. Het is best wel een uitdaging om de informatie die je verzamelt op het waterschapshuis goed door te sluisen naar een andere plek naar die andere mensen. Daar hadden we destijds die interactieve kaart voor bedacht. Maar in de praktijk tijdens het hoog water van 2012 werkte dat toch eigenlijk niet zo goed. Wat we eigenlijk gedaan hebben is een WORD documentje gemaakt met een hele korte beschrijving van de situatie met een aantal grafiekjes en een aantal plaatjes van de waterstanden van dat moment, en de verwachte waterstanden van de komende paar dagen. Dat was lekker simpel en werkte gewoon.

Ik: Hoe bepaalde jullie die grafieken die erin zaten?

Het systeem dat we gebruiken, de basis van BOS, is het FEWS-systeem (flood early warning system). Daar zitten al best wel goede kaarten en grafieken in. Het is een systeem van [REDACTED] zij hebben dat samen met [REDACTED] ontwikkeld.

Extra

Ik: Is dit een beetje waar jullie mee werkten?



Afb. 2: De drie lagen waarop het BOS-platform is gebaseerd.

Figuur 17.2 Geciteerd "De drie lagen waarop het BOS-platform is gebaseerd" (Loos, van Norel, Esenbrink, & Lobbrecht, H2O)

Dit is wel een beetje achterhaald. Dit zou je met mensen van [REDACTED] kunnen doornemen.

Ik: Hoe vaak hebben jullie bepaalde gegevens nodig van een bepaalde plek?

Gevonden in artikel: BOS Hoog Water Groningen (van Overloop, Lobbrecht, van Norel, & Vos, 2005)

Waterstanden	Eens per uur
Neerslag metingen	Eens per uur (aantal neerslagmetingen nodig voor betrouwbaar beeld)
Verwachte neerslag + rivierwaterstanden	Eens per 6 uur

Dat heeft ermee te maken hoe vaak je een actualisatie wilt maken voor je prognose. Standaard doen we dat 2 keer per dag. Maar als het hoogwater wordt kunnen we een knop omzetten. Dan doen we het elk uur. Als je elk uur rekent moet je ook elk uur je input gegevens kunnen aanpassen. Dat is ook de reden dat we de metingen elk uur gaan inwinnen zodat je bij elke nieuwe berekening ook weer de actuele situatie meeneemt.

*Ik: Wie gebruikt die data 2 keer per dag?*

Onze beheerder. Als het spannender wordt kan hij aan het begin en het eind van de dag de prognose raadplegen. Aan de hand hiervan kan hij zijn maatregelen bepalen. Maar als het spannend wordt, als het hoogwater is komt een paar keer per dag het operationele team bij elkaar. Zij nemen de maatregelen en de situatie door. Dan kan een waterstand ook best wel snel oplopen en is het belangrijk dat je elk uur een actualisatie kan maken.

-----



## 18. Appendix 12 Interview with den Ouden, at the department water systems at a waterboard (02-04-2021)

1. Wat is uw functie binnen [REDACTED] en wat voor projecten heeft u gedaan gerelateerd aan BOS?

[REDACTED]

2. Wat is uw definitie van een gebiedsregeling?

Het is een definitie kwestie. Onder een gebiedsregeling versta ik, een collectief van onderling functioneel samenhangende losse kunstwerken. Een kunstwerk is dan een gemaal, een stuw, of een meetinstrument. Maar wat is de definitie van een kunstwerk?", staat het op één plek, wij hebben ook stuwen die 100 meter verder opstaan. Maar grofweg heb je een kunstwerk met een bepaalde functie, en die functie kan aangestuurd worden door een hoger gelegen kunstwerk. Wat je ook kan zeggen is dat meerdere kunstwerken één groter kunstwerk vormen. Zo kun je het BOS ook in feite zien als een gebiedsregeling. Dan is het gebied de boezem van [REDACTED] en de onderliggende kunstwerken zijn de boezemgemaal.

Ik: Dat hadden ze ook bij [REDACTED], eigenlijk is het beslissingsondersteunend systeem één grote gebiedsregeling.

Ja, zo kun je het wel zien.

3. Wat is uw definitie van een beslissingsondersteunend systeem?

Al beantwoord.

4. In mijn thesis ga ik mij bezighouden met gebiedsregelingen. Ik ga kijken naar 3 scenario's: reguliere omstandigheden, extreme neerslag, en een langere periode van droogte. Kent u projecten waar er gebruik werd gemaakt van een vergelijkbare werkwijze?

Toepassingssets van kunstwerk instellingen, op basis van bepaalde weersscenario's, of in ieder geval waterstaatkundige scenario's zijn er. Er is van tevoren nagedacht over, wat je doet, wat de kunstwerken moeten doen in bepaalde omstandigheden, in bepaalde scenario's. Die scenario's zijn soms geïmplementeerd in de systemen, en soms zitten die grotendeels in draaiboeken.

Ik: Wat is het verschil wat in een draaiboek staat en in het systeem?

Je kunt een scenario voorstellen dat het waterschap het eigenlijk niet meer aankan, dat het watersysteem vol is, en dat alles maximaal aanstaat, dat we eigenlijk niet meer kunnen doen, en dan heb je nog steeds het scenario dat er nog meer neerslag valt. Dus dan moet je opschalen. Dan moet je bijvoorbeeld een polder aan laten wijzen door de dijkgraaf, om op te offeren. Dat soort dingen staan meer in draaiboeken, wanneer er coördinatie nodig is met de naastgelegen waterschappen zoals [REDACTED]. Maar in de meer reguliere omstandigheden, zoals het is bijvoorbeeld droog, maar niet extreem droog, of het is nat maar niet calamiteit nat, die omstandigheden die kun je inpakken in het systeem zoals een BOS.

Ik: Oke, dus jullie BOS richt zich echt op de reguliere omstandigheden?

Ja, de meest voorkomende omstandigheden. Dat is ook wel logisch naarmate je richting de flanken gaat, naar de minst voorkomende extremere scenario's, dan kun je je daar per definitie het minst goed op voorbereiden, omdat je BOS niet ingesteld krijgt op die situatie. BOS is voor het meest reguliere gebruik voor de 95% voorkomende weersomstandigheden.

Ik: Hebben jullie dan wel bedacht wat jullie gaan doen tijdens zo'n extreme neerslag, of is dat dan echt dat draaiboek dat je dan openzet.

Ja, daar is over nagedacht, en dat is genoteerd in zo'n draaiboek onder andere, en in procedures die er in de teams gelden. Er is ook een calamiteiten organisatie. Wanneer de omstandigheden buiten de invloedssfeer komt van het waterschap dan gaat zo'n calamiteiten fase in, of al even daarvoor als ze daarvoor kiezen.

5. Heeft u voorbeelden van interessante remote sensing technieken, die ook zouden kunnen zorgen voor interessante parameters?

█ meet heel veel dingen, uiteraard de waterniveaus, maar ook andere parameters zoals zoutgehalte. █ importeert ook in het BOS-neerslag verwachtingen, ook andere parameters zoals verdampingsverwachtingen en dat soort dingen. Er zijn nog volop mogelijkheden, bijvoorbeeld het BOS-model doet een aanname van de staat van de berging in de grond. Dat is een hele belangrijke factor, de opslagmogelijkheden in de grond voor water, dus daar kunnen we in de toekomst nog metingen voor gaan gebruiken, een wat geavanceerdere benadering. Er is altijd meer mogelijk natuurlijk, en je kunt altijd verbeteren op dat vlak.

6. Kent u van voorbeelden van BOS-projecten waar er ook naar de grondwaterstanden was gekeken, wat zijn de voor- en nadelen?

Ik: Als ik het goed begrijp wordt er dus in het BOS-model een aanname gemaakt?

Ja er wordt een benadering gemaakt, er draait een soort sub-modelletje van de staat van de grond, dat kan beter.

Ik: Heel veel waterschappen maken nog geen gebruik van grondwaterstanden, is dat omdat er daar veel meer metingen voor nodig zijn, is dat echt een heel groot nadeel om dat niet te doen?

Dat klopt.

7. Worden er vooral peilmetingen gedaan bij het kunstwerk zelf (stuw, gemaal, inlaat) of worden er ook metingen gedaan in het midden van de polder?

Ja, de meeste metingen zitten vast aan de gemalen en de stuwen, maar er zijn ook batterij gevoede meters die ergens in de polder kunnen hangen in een buis. Voor puur de waterstand, en soms ook het EC-gehalte, het opgetelde zoutionen gehalte, dat is ook wel belangrijk. Maar het grootste gedeelte van de metingen zit vast aan één van de kunstwerken.

Ik: Wanneer kiezen jullie ervoor om het op meerdere plekken te doen? Is dat omdat daar een knelpunt is?

Ja, dat is soms het geval, dat er vaak klachten komen vanuit een bepaalde hoek in de watergang, waar geen gemaal of stuw staat, maar wel vaak een melding is van te hoog of te laag water, dat is een reden. Maar ook omdat het bijvoorbeeld op die plek logisch is om een gemaal of een stuw te hebben, dat het helemaal achter in de polder is. Dat ze daar toch een meting willen doen om te kunnen zien hoe hoog het daar is.

Ik: In een ander interview zeiden ze dat ze verschillende meetpunten hadden en dat ze daarvan het gemiddelde gebruikten, doen jullie dat ook?

Volgens mij nog niet, maar dat is wel iets waar we inderdaad over aan het nadenken zijn. Met name bijvoorbeeld het BOS gebruikt peilmetingen als invoer onder andere in de boezem, en als zo'n meting niet goed is, wordt een heel groot gedeelte in de boezem door BOS niet goed benaderd. Die metingen wil je dan zekerder maken, dat kun je dan technisch doen door te middelen, er zijn talloze manieren voor, maar hier zijn we nog over aan het nadenken.

8. Meer data punten (van bijvoorbeeld peilmetingen, chloride gehalten) in de polder vergroot de nauwkeurigheid van de analyse, echter dit zorgt ook voor hogere onderhoudskosten, hoe kan hier het beste een afweging in worden gemaakt?

Dat is ook wel een interessante, we zitten nu een beetje op een soort van kantelpunt, in die meetwereld, in het algemeen. Vroeger was het zo, 10, 20 jaar geleden, dat een waterschap liever 20 hele goede meetpunten had die eigenlijk altijd klopten, nu zijn er zoveel metingen binnen [REDACTED]. In [REDACTED] zelf zijn er nu al 800 metingen aan het watersysteem. Dan kun je ook zeggen, we hebben liever heel veel minder goede metingen als heel weinig hele goede metingen, dus de macht der grote getallen, big data achtig. Dat is ook wel een trend die je nu ziet, die sensoren worden steeds goedkoper, en ook die batterij gevoede dingen worden steeds goedkoper. 10 jaar terug kostte zo'n batterij gevoede meter 1.500 euro, tegenwoordig heb je ze voor 400 euro, bij wijze van spreken. Die trend is wel grappig, dat zie je over de hele linie, overal meten wordt steeds goedkoper, en er wordt ook steeds meer gemeten.

Ik: Het wordt dan goedkoper, maar zijn die meters dan ook betrouwbaarder, dat ze langer meekunnen?

Ja. Hele goede meters die lang meegaan zijn vaak duur, goedkoop is duurkoop, dus die goedkopere gaan minder lang mee. Daar weet ik eigenlijk niet zo heel veel van. Wij gebruiken traditioneel gewoon goede dure.

Ik: Hoe maken jullie daarin aan afweging in, is dat een beetje op gevoel, of vooral gebiedskennis?

Dat is op zich wel interessant dat je dat vraagt. [REDACTED] heeft meerdere meetnetten. Die meetnetten zijn allemaal bottum-up gegroeid. Een bepaald team had behoefte aan bepaalde metingen, die leggen hun eigen meetnetje aan. Zo is dat eigenlijk een beetje organisch van beneden af gegroeid. We beginnen nu een beetje na te denken over hoe we die meetnetten kunnen bundelen. Dat is ook de vraag vanuit het waterschap, om wat meer te kunnen bundelen.

Ik: Heeft iedereen toegang tot die meetpunten in de organisatie?

Meestal een bepaalde klantgroep/club die het gebruikt. We beginnen nu meer dingen beschikbaar te maken voor iedereen. Eén van de systemen waarmee we dat doen heet WIS (water informatiesysteem). Dat is al een poging om het breder beschikbaar te maken.

9. Aan de hand van welke criteria kunnen het beste de grens/signaal waarden in het BOS-systeem worden bepaald? Gaat hier echt alleen om de grensmarges van het waterpeil?

Ja, er zijn wel harde grenzen. Je hebt een uiterste ondergrens en een uiterste bovengrens. Dat is grofweg hoe er tegenaan wordt gekeken. Je hebt een boezem streefpeil van bijvoorbeeld -0.43 m NAP het hele jaar door. Een aantal centimeter daarboven en een aantal centimeter daaronder is goed. De marge die je dan hebt, is waarbinnen de operator kan spelen om de andere doelen te verwezenlijken. Bijvoorbeeld energiezuinig of het EC onder controle houden. Dan heb je uiterste grenzen, dat is een stuk naar boven en een stuk naar onder, daarbuiten gaat de waterveiligheid een rol spelen. Als het te hoog wordt kan het over de dijk heen gaan, als het te laag wordt kunnen de kades uitdrogen. Dus eigenlijk die 2 bandbreedtes rondom dat midden, worden ongeveer gehanteerd in de manier van denken.

10. Ik ga tijdens mijn stage kijken naar reguliere omstandigheden, extreme omstandigheden, een droogte, heb je tips hoe je het beste deze scenario's kan definiëren, kijkend naar randvoorwaarden zoals neerslag, verdamping, chloride gehalte ect? Je hebt bijvoorbeeld voor extreme neerslag bepaalde neerslagbuien met een bepaalde terugkeertijd, en een bepaalde peilstijging, zijn er meer dingen waar je rekening mee kan houden?

De situatie herkenning, dus een gegeven bui is erg onder bepaalde omstandigheden, maar niet erg onder andere omstandigheden. Hoe nat is het gebied, als het heel nat is dan is de  $T=10$  wel een probleem, dan komt die  $T=10$  bij wijze van spreken niet eens aan op de boezem. Het BOS-systeem gebruikt daar inderdaad een benadering voor. Het BOS-systeem weet wat de huidige status van het gebied is, en weet dan dus in te schatten wat de impact van een gegeven bui op die status is. De operator, de peilbeheerders die achter de knoppen zitten die hebben dit ook ongeveer in hun hoofd zitten. Dus die weten bijvoorbeeld nu is het best wel droog, en de peilen dalen, dus het systeem heeft nu water nodig, en is netto een watervraag in het systeem. Zij hebben het wel goed in hun hoofd zitten en ergens Maart/April is er altijd een omslag, van nat naar droog en in September/Oktober dan gaat dat de andere kant op, van droog naar nat.

Ik: En hebben ze dan bijvoorbeeld in dat BOS-systeem, daar hebben ze dan denk ik die gebiedsregelingen voor die je dan kan instellen?

Het systeem zelf weet in te schatten, gegeven het streefpeil, wat je kan instellen, en de hoeveelheid regen die eraan komt, dan weet het systeem van; het gebied is nu zo nat, of zo droog, dan gaat die neerslag die gaat vallen dit effect hebben op de peilen of de berging, dan moeten de gemalen dus dat gaan doen. Dat is grofweg wat BOS beredeneert.

Ik: Dus als ik het goed begrijp bepaalt het BOS-systeem zelf wat goede maatregelen zijn, dat berekent die?

Ja, hij berekent wat de boezemgemalen moeten doen, om de peilen in het door jou zelf ingestelde domein te houden.

Ik: Ja, je hebt meerdere mogelijkheden die voor een juist waterpeil kunnen zorgen, maar maakt die daar dan een afweging in, dat die kijkt naar verschillende combinaties.

Ja, dat doet die. Zoals je het technisch noemt, optimalisatie van de doelfunctie. De doelfunctie van BOS is de peilen binnen de marge houden, maar het wil ook het peil binnen de marge houden waarbij je zo min mogelijk schakel acties hebt, van de gemalen. Dus gemalen die al aanstaan, die wil je eigenlijk laten aanstaan, en de gemalen die uitstaan die wil je eigenlijk uit laten staan. Elke schakelacties betekent een slijtage. Dus het BOS probeert de peilen binnen de marges te houden, maar ook met zo'n min mogelijk verandering van de inzet.

Ik: Doen ze dat dan met een puntensysteem, dat ze zeggen je hebt het doel energie en je hebt het doel minder schakel acties, dat ze dat een soort som geven van dit de slimste afweging?

Ja, hier is het gewicht het laagst van de oplossing die je kiest. Zo moet het werken, zo werkt het ook voor de water kwantiteit. De andere doelen zijn nog niet op die manier in het systeem gebracht, behalve dan die schakelacties.

11. Hoe kan er het beste worden omgegaan met het verschil tussen de realiteit en de berekeningen in BOS? Er kunnen bijvoorbeeld onverwachte omstandigheden zijn zoals een duiker die verstopt is, uitval van een stuw, of een kleiner beschikbaar volume in de watergang door oeverplanten of slib.

Eigenlijk wil je je model uitkomsten corrigeren voor je gemeten werkelijkheid, data-assimilatie heet dat principe. Dat zit er nu niet echt voldoende in, dat is ook één van de wijzigingen die we wensen voor de komende tijd. Er loopt een project waarbij we dat gaan proberen erin te doen. Er zit wel een correctie, maar dan op waterstandsniveau, dus als we de waterstanden buiten de marge zien komen, zitten er feedback regelingen in die heel direct daar gemaal activiteit tegenoverzetten. Dus die correctie is er wel naar de werkelijkheid toe. Maar het model echt meer in samenhang laten raken met de werkelijkheid, dat moeten we nog gaan perfectioneren.

Ik: Hebben jullie daar al ideeën over hoe jullie dat gaan verbeteren?

Een student gaat een 'machine learning' model proberen. Dat is iets waarbij je zo'n mechanisme simuleert. Als we het op de conventionele manier gaan doen, moeten we het model zelf opbreken. Daar zijn mogelijkheden toe maar eerst even kijken of dit gaat werken. Het liefst heb je iets dat gegarandeerd mee schuift met de situatie.

12. Voor de gebiedsregelingen ga ik sturingsregels bedenken, heeft u tips om de sturingsregels zo goed mogelijk in overeenstemming te laten komen met de mogelijkheden binnen het BOS-systeem?

Het BOS probeert te optimaliseren, op debieten die je wilt inzetten, en op de waterstanden. Als je regels gaat toepassen, zoals "Als dit gemaal aan gaat dan moet je daar dat doen", zou dat voor een boezem niet goed werken. Er zijn wel situaties in de polder waarbij dat zo gemaakt is. De polders zijn eigenlijk autonome ingelegen watersysteempjes, 80 stuks bij ons ongeveer, die allemaal min of meer afhankelijk van de andere polder functioneren. Dit is niet altijd het geval, soms zit er een verbinding tussen de polders. Maar daar zijn wel dat soort dingen in opgenomen als "Als gemaal A aangaat dan moet stuw B na een kwartier 10 centimeter zakken", dat soort trucjes. Dus in de polder zijn die regel gebaseerde sequentiële gebiedsregelingen wel al van kracht, niet alle polders, maar er zijn er veel waarbij dat wel zo is. Als je bijvoorbeeld weet dat als je het gemaal aanzet, met een hele langgerekte polder, dat een kwartier later een gemaal uitgaat omdat het peil te laag wordt, terwijl er nog heel veel water downstream naar het gemaal wil komen. Dat is waar je dat prima kan toepassen.

Ik: Zijn er dan tips hoe je dat slim kan doen in die polder, of is dat echt te specifiek?

Dat is inderdaad heel specifiek, maar het begint erbij dat je goed gaat analyseren wat de kunstwerken nu doen. Dus dan pak je het gemaal van die polder, en kijk je wat de relatie is tussen het aangaan van het gemaal en het verhang in de polder erachter. Dat neem je dan waar, dan is de volgende vraag; is dat onwenselijk wat je waarneemt. In sommige polders is een grote drooglegging geen probleem, andere locaties waar dit veel kleiner is, maakt dat wel uit. Is het antwoord dan, ja, het is een probleem, dan ga je kijken of dat met de aanwezige kunstwerken opgelost kan worden, bijvoorbeeld door het gemaal langzamer te laten draaien. Eerst analyseren of er een probleem is en wat de situatie is.

13. Duurzaamheid wordt een steeds belangrijker thema binnen het waterbeheer. Is hier ook naar gekeken bij de ontwikkeling van het BOS-systeem, en zo ja hoe? (Bijvoorbeeld onderwerpen zoals vismigratie of energiekosten)

Het is een vaag begrip, een beetje politiek gevleugeld. Het is wel een beetje meegenomen, bijvoorbeeld dat BOS zo min mogelijk probeert te schakelen met de boezemgemalen, want dat zorgt voor slijtage, dat is vanuit de duurzaamheid van het kunstwerk. Er wordt een rapport gemaakt om het waterbeheer meer integraal te doen, dus meerdere doelen tegelijkertijd na te streven. Traditioneel is dat kwantiteit, er moet water uit of in, daarvoor zetten we gemalen of stuwen in. Er zijn ook andere doelen, waterkwaliteit, vissen, maar ook energie. Het BOS bevat die logica nog niet. Het is alleen nog op kwaliteit gericht en duurzaamheid qua slijtage van de boezemgemalen. Ons boezemsysteem bevat eigenlijk heel weinig buffer, je hebt met heel weinig water al een peil dat boven de marge uit dreigt te komen en met een relatief klein tekort heb je al een peil dat te laag gaat worden, dus je kunt niet zo heel veel spelen met de buffers in het systeem. Dat maakt dat het lastig te optimaliseren is. Het is juist die ruimte die je benut, die marge, om die andere doelen te faciliteren. Het kan dus wel maar het is begrensd door die beperkte buffercapaciteit. Het watersysteem van [REDACTED] heeft veel meer buffer, veel meer open water, dat biedt meer mogelijkheden.

14. Terugkijkend op de ontwikkelingen binnen BOS, wat zijn de belangrijkste lessen die u heeft meegenomen (waar moet er in het begin goed rekening worden gehouden om er later profijt van te hebben?)



Dat je geen problemen gaat oplossen die er niet zijn. Eerst afvragen; Is er een probleem, en zo ja wat?", ten tweede heel goed kijken naar je invoer parameters. Een term die je ooit wel eens gehoord hebt is "Garbage in, Garbage out", je systeem is maximaal maar zo goed als wat je erin stopt. Je kan een prachtig water model gebouwd hebben, maar als je daar metingen in stopt die niet kloppen dan wordt de uitvoer van het systeem ook niks. Het is een beetje een open deur maar het is wel heel erg waar. Alle invoer die je gebruikt moet gewoon goed zijn. Waar wij nu ook tegenaan lopen, is dat we een over simplificering hebben gedaan van de polder systemen. We hebben die samengevoegd om zo snelheid winst te krijgen, zodat het binnen de 5 minuten die ervoor staat klaar is. Maar die over simplificering heeft ook nadelen. Die nadelen gaan we proberen op te lossen met dat machine learning model.

#### 15. Neerslag is de meest onzekere factor. Hoe gaan jullie om met die onzekerheid in de neerslag?

Die neerslag die nu gevoed wordt aan het systeem komt bijna nooit uit, het is altijd meer of minder, of op een ander moment, of intensiever, of op een andere plek. Het BOS-systeem gaat daarmee om door gebruik te maken van feedback regelingen, en door naderhand de metingen binnen te krijgen van onze eigen regen meters zelf. Dus er komt een bepaalde verwachting aan, onze regenmeters, 10 stuks in ons gebied, meten een bepaalde neerslag, en wordt al meegenomen. BOS gaat eerst uit van de verwachtingen, daarna van onze metingen, en nog langer terug, gaat het uit van de gecorrigeerde radarbeelden. Dus de informatie over de neerslag dat op het land komt wordt naar gelang het moment dichterbij komt, of net verstreken is, sterker verbeterd. Maar hier zit i een grote winst. Dus weer die "Garbage in, garbage out", waar we het net over hadden.

Ik: Bij andere waterschappen/organisaties vinden ze die regenmeters niet goed genoeg, dan zeggen ze dat zijn punt metingen. Hebben jullie zoiets van, we moeten minimaal zoveel meters hebben, want anders dan is het niet voldoende.

We hebben er nu 10 en dat gaat wel goed. Idealiter heb je er meer, want het kwam een tijdje terug voor dat er een bui viel tussen 2 regenmeters. Het BOS-systeem had zoiets van ik doe niks, want er valt namelijk geen regen, en de weersverwachting zei dat deze bui langs ██████ ging, dus geen van de 2 bronnen die het BOS-systeem hanteert, deze 2 bronnen zeiden niks. Toen heeft het systeem ingegrepen op basis dat de peilen wel buiten de marges zouden komen, dus het ging niet goed. Daar zit nog wel verbetering, idealiter gebruik je een vlak dekkend overzicht van de neerslag die valt, die steeds beter wordt naarmate het moment dichterbij komt.

Ik: Bij andere waterschappen keken ze naar een pluimverwachting.

Oke, dat doen wij niet.

Ik: Maken jullie bijvoorbeeld ook gebruik van buienradar?

Er wordt gebruik gemaakt van neerslagradar gegevens, maar niet voor het moment nu. ██████ heeft een heel snel reagerend watersysteem, een druppel wat op het land valt, leidt binnen no time tot peilstijgingen in de boezem. Die radar gegevens zijn gewoon te langzaam, die zijn niet zo goed van nature en moeten idealiter gecorrigeerd worden. Op dat moment is het meest belangrijke deel voor de afstroming van de neerslag al gepasseerd, dus daarom gebruiken we onze eigen neerslag meters die continu informatie leveren, bijvoorbeeld per minuut.

Ik: Oke dat is wel een grappig verschil, want bij de andere waterschappen zeiden ze van ja, dat doen we niet?

Als ons systeem langzamer zou reageren op neerslag zouden wij dat waarschijnlijk ook niet doen, maar omdat het zo snel reageert moeten we ook gewoon een snelle invoer hebben.

-----

## 19. Appendix 13 Interview with Raat, Employee at a waterboard (17-03-2021)

### Uitleg FEWS IR

█ heeft één boezemstelsel, met ongeveer 300 poldertjes. 200 polders stromen uit op de boezem. Er draait ieder uur een SOBEK-model. Het systeem is ook gekoppeld aan HDSR, we willen ook informatie uit hun systeem. De input ervan is bijvoorbeeld de neerslag radar. Hiervoor wordt Harmonie gebruikt, dit is een product van het KNMI. Je kan hiermee zien wat er per pixel valt. Dit vertaalt zich naar een model knoop. Er is ook historische neerslag radar, dat gaat ook naar het model. Voor alle bakjes berekent het model hoeveel water erin zit. Dat wordt weer gebruikt in een RTC-model. Daar zijn er meerdere van. Er is een RTC-model operationeel die ieder uur draait voor de boezemgemalen. Daarnaast hebben we voor een paar poldergemalen ook een RTC-model. Het model kijkt naar verschillende input waardes, dan maakt het RTC-model een numerieke oplossing. Met het regime geef je bepaalde dingen mee. Voor sommige situaties is het belangrijk een paar doelen mee te nemen, en in andere situaties weer niet. In de zomer kijken we veel meer naar de waterkwaliteit dan in de winter. In de winter zetten we de waterkwaliteit uit als doel. Dan rekent het model wat sneller door.

Dit is een schematische weergave van het boezemstelsel. Rechts zie je de 4 boezemgemalen. Dat zijn de belangrijkste gemalen om het water uit █ te krijgen. In het middelste figuur zie je het model resultaat, dit kan je ook door de tijd heen halen. Dan zie je de watergang verkleuren, dat heeft het model berekend. Voor de verschillende takken kan je dan voorspellen wat de waterstanden worden. Bij deze RCT kan je dus specifiek kijken per tak hoe het zit. In de kolom rechts CAW zie je de beschikbare boezemcapaciteit, dit komt direct uit het CAW-systeem. Als er bijvoorbeeld een gemaal uitvalt, een pomplijn, dan weet het model dat ook meteen, en dat er minder capaciteit is. Dit wordt meegenomen in zijn afweging.

### Statistische informatie

Er wordt gewerkt met een RWP, dat staat voor representatief boezempeil. Als gebruiker wil je de gemiddelde waarde van de boezem hebben. Je ziet hoe dit historisch verlopen is. In de onderste grafiek zie je wat de daadwerkelijke boezemgemalen gedaan hebben. Met de verschillende kleuren worden de verschillende gemalen aangegeven. De groene verticale lijn geeft het "nu" aan, de  $t = 0$  van het model. In de onderste grafiek zie je na deze groene lijn wat licht gekleurdere blokken. Dit is de berekening van het RCT-model, van hoe het model denkt dat de boezemgemalen het beste kunnen worden ingezet. De instructie stuurt het model naar het CAW, vervolgens stuurt het CAW de instructie naar de pomp. De RWP-lijn (blauwe lijn) gaat over in 'verwacht RWP' (rode lijn). Het model probeert de RCP-lijn tussen de boven- en ondergrens te houden, er zit in dit geval 3 centimeter bandbreedte in. De RCP kijkt naar de gemiddelde waterstand in de boezemtakken, hier zit wel wat fluctuatie in. De lijn (dunne rode lijn) "Verwacht RWP zonder sturing" laat zien wat er gebeurt wanneer je de boezemgemalen niet aan zet.

Het model kijkt naar meerdere dingen. Dit is dan getijde van de Hollandse IJssel waar het water ingelaten wordt. Je kunt alleen bij hoogtij inlaten, het model berekent dan op welke momenten dit is. Hetzelfde doen we voor boezemgemaal Katwijk. Deze pompt uit de Noordzee, maar heeft ook last van getijden. Dan wil je het juist inzetten als er laagtij is omdat dat goedkoper is qua stroom. De energieprijzen worden ook geïnterpreteerd, er is een contract dat er een signaal komt wanneer de energieprijzen het goedkoopst is. Dat willen we ook verbeteren in de toekomst. Dat we nog beter kunnen inschatten van wanneer is de energieprijzen het hoogst, het goedkoopst, en "kunnen we pompen?", dan doen we dat op die momenten. Dat sturen we terug naar de energieleverancier, zodat zij weten dat we ons gemaal aanzetten. Dit is de toekomst waar █ nu mee bezig is.

### Modifiers

We willen voorkomen dat gebruikers geen grip op het systeem hebben. Daarom zijn er modifiers ingezet. Met de modifiers kan je als peilbeheerder nog aan de knoppen draaien wat ze wel en niet belangrijk vinden. Sommige doelen worden automatisch uit het regime bepaald.

Andere doelen zijn: naar het getij kijken, minimaliseren pompkosten (als het extreem nat is dan wordt dat uitgezet). Op dat moment wil je niet dat het model gaat kijken naar het goedkoopste moment van stroom).

#### Regime instellen

In het model kan je het regime instellen (bijvoorbeeld droog, normaal, extreem nat). De peilbeheerder die wachtdienst heeft kijkt dan, in afstemming met zijn collega's, in welk regime deze zit. We zijn nu ook bezig met een regime herkenner, dat we een geautomatiseerd advies van het model krijgen. We willen dat dit ook geautomatiseerd is.

#### Can je die regimes ook vergelijken met die gebiedsregelingen?

In principe is het hele model een gebiedsregeling voor de boezem. Dit zijn scenario's, maar het hele model zelf is een gebiedsregeling. Je regelt iets in een gebied niet aan de hand van één meting maar van een heel overkoepelend systeem. In het CEW-systeem wordt er ook gebruik gemaakt van gebiedsregelingen.

#### Peilinstellingen

In het model kan je instellen wanneer je moet gaan minderen als je een bepaald peil bereikt, wat deze maximaal uit mag pompen, en hoeveel uur hij minimaal moet draaien.

#### Bergingsgebieden

In ██████ heb je ook bergingsgebieden. Dat is een gebied dat we overstromen als er te weinig ruimte in het boezemstelsel is.

#### Chloride doorspoelen

Er kan ook gekeken worden naar het chloride gehalte (zoutgehalte). Hiervoor kan je de grenzen aangeven om wel of juist niet te doorspoelen.

#### Comparteringswerken

In theorie kan het gebeuren dat er een dijk doorbreekt. Om te voorkomen dat je hele boezemstelsel dan volloopt, hebben we afscheidingswerken. Als er een dijk doorbreekt, sluit je de comparteringswerken, zodat maar één deel van de boezemwatergang leegloopt en niet het hele boezemsysteem. In het model kan je aangeven hoe je de comparteringswerken hebt ingezet, het model kan dan berekenen hoe die dan alsnog het water kwijt kan.

#### Wind

Wind zit ook in het model. Meestal gaat het om een zuidwesterstorm. Als er een zuidwesterstorm is zorgt dat voor ophoping. Het water kan dan 30 centimeter hoger staan in de noordwest kant van het gebied, aan de zuidwest kant staat het water dan juist te laag. Als er in het noordwesten ophoping wordt voorspeld, moeten de gemalen in het noorden aangaan.

#### Rekentijd

De rekentijd zit nu op 10 of 15 minuten. Dat is wel lang, maar nog wel acceptabel. Als je meer informatie erin verwerkt wordt de rekentijd ook weer langer. Het is een afweging van wat is de beste schematisering voor je werkelijkheid.

#### Hoeveelheid doelen

██████ is best wel ver met de hoeveelheid doelen waar ze op sturen. Vele andere waterschappen

sturen alleen op peil. ██████ kijkt ook naar energie en waterkwaliteit. Ecologie krijgt ook steeds meer een rol, dat je ook kijkt naar wanneer wil je lokstromen maken voor glasalen.

### Pilots

██████ is bezig met kleine modellen specifiek voor polders. Operationeel zijn deze nog niet goed genoeg om echt live te zetten. Deze modellen draaien wel constant mee. Het is meer een analyse. Alleen de boezemgemalen zijn afhankelijk van het model. Er zijn ook pilots bezig met wat losse polders, hiermee willen ze het energieverhaal verbeteren. Om te kijken hoe daar slim op kan worden aangestuurd, en om te kijken of het model wel realistisch is. Soms klopt het aanvoer model niet, dit komt doordat er heel veel aannames inzitten. Je hebt niet overal metingen om je model goed te kunnen kalibreren.

### CAW-systeem

*Een voorbeeld gemaal (zie figuur 1)*

Aan de hand van het peilbesluit moet de waterstand binnen een bepaalde marge blijven. De peilbeheerders moeten hiervoor allemaal dingen instellen, hier komt een alarm uit. Er moet veel worden ingesteld, daarom is er gekozen voor recepttypes, een voorbeeld is winterpeil. De recepttypes maak je één keer aan. Dat is een vooraf gedefinieerde set aan instellingen.



*Figuur 1 Voorbeeld gemaal*

### Acceptatie omgeving

In de acceptatie omgeving wordt alles getest voordat het live wordt gezet. Iedere woensdag zijn we er mee bezig om nieuwe dingen te testen die ons hopelijk operationeel gaan helpen.

**Ik: Waar ik ga kijken heb ik te maken met 5 inlaten en één gemaal. Dus dat is een stuk kleiner als jullie gebied.**

Dus dan heb je ook een veel simpeler model nodig en niet zo geavanceerd zoals wij het hebben. Daar kan je misschien met zo'n scripter ook wel iets mee bouwen. Dat heeft weer als nadeel dat het niet uniform is. Het voordeel van dit systeem is (figuur 11), dat iedereen volgens hetzelfde ding moet werken. Elk gemaal heeft zijn eigen standaard software, iedereen heeft zijn eigen regio. Als bijvoorbeeld één peilbeheerder vervangen moet worden dan weet hij ook hoe andermans gebied werkt omdat het dezelfde standaard heeft. Dat is wel het voordeel. In ██████ werkt de hele regio als één ding. Per waterschap is het watersysteem vaak heel anders, daardoor loopt de behoefte ook vaak uit elkaar. Er zijn verschillen tussen, daarom kan je dus ook niet hetzelfde systeem gebruiken.

### Risico

Waar ik me wel zorgen over maak is dat ze van alles willen. De data die wij opslaan is niet persé van goede kwaliteit. Als er bijvoorbeeld een sensor stuk is en het valt niet op, dan ziet niemand dat.

De mensen die er dan mee rekenen hebben geen idee wat ze eigenlijk voor data hebben. Het gevaar is dat mensen die met die data werken geen gevoel hebben bij de operationele data.

Ik: Hoe gaan jullie daarmee om?

Dat is iets waar we bij het waterschap wel eens tegenaan lopen. We proberen de data te valideren en te controleren. We hebben ook gegevensbeheerders die dat constant doen. Als je alles automatisch laat berekenen op basis van de live data, dan moet je er ook voor zorgen dat die data klopt. De jongens in het veld zijn vooral bezig met de alledaagse dingen van bijvoorbeeld "Dit gemaal doet het niet, ik ga hem repareren", maar die staan heel ver af van dat model. Die hebben geen idee wat er allemaal op basis van hun werk afhankelijk is. Dus dat is wel een uitdaging om te beseffen dat iedereen belangrijk is. Alles moet goed zijn.

### Vragenlijst

1. In mijn thesis ga ik mij bezighouden met gebiedsregelingen. Ik ga kijken naar 3 scenario's: reguliere omstandigheden, extreme neerslag, en een langere periode van droogte. Heeft uw waterschap gebruik gemaakt van een vergelijkbare werkwijze?

Voor ons boezem model maken wij gebruik van scenario's. Dat bepaalt een beetje hoe je model aangestuurd wordt. We hebben simpele gebiedsregelingen, dit kan met een klein scriptje.

2. Aan de hand van welke parameters worden er beslissingen genomen?

Ik: Ik zag dat jullie ook veel gebruik maakten van chloride en waterpeilen, maar maken jullie bijvoorbeeld ook gebruik van doorzicht, of van zuurstof?

Zuurstof niet. Ik ben nu bezig met het effluent van de afvalwaterzuiveringen die ook op de boezem lozen. Ik heb sinds kort een koppeling met hun systeem dat ik kan zien hoeveel water er van de RWZI's naar de boezem komt. We zijn ook bezig met een inlaat. Als er dan uitspoeling is, en het water is heel troebel, moet de inlaat die dan weer naar de polder stroomt dicht gestuwd worden, zodat het zwemwater niet wordt vervuild. Daar ben ik mee bezig en dat ga ik ook met een gebiedsregeling doen. Het is vrij simpel omdat er maar één gemaaltje is. Het is nu "het is troebelwater doe de inlaat dicht". Dat zit niet in dat hele complexe model, troebelheid. Het complexe model heeft dus waterpeil, chloride, energie, getijde, wind en pendelen (we willen niet dat een boezemgemaal één uurtje aangaat, en het volgende uur weer uit "aan uit aan uit". Dat weet het gemaal niet, dus dat geven we ook mee dat het gemaal minimaal zolang moet draaien).

3. Wordt er voor de aansturing ook naar grondwaterstanden gekeken?

In dat SOBEK-model zitten ook wel grondwaterstanden in. We hebben veel te weinig grondwaterstand metingen om dat uit het model op te drukken. Dat is ook iets wat ik de laatste tijd probeer te verbeteren. Meer grondwaterstand sensoren plaatsen, en die naast het model te leggen van "Klopt het nog wel?". Hier hebben we gewoon veel te weinig geïnvesteerd. Grondwater kan fluctueren, hier moeten we zeker meer mee gaan meten voor het model omdat ook het aanvoer model niet altijd klopt.

4. Hoe wordt er omgegaan met de onzekerheid van meteorologische informatie?

Ik: Bij mij zijn ze bang dat ze gaan voor bemalen, omdat er staat dat er een hele harde bui aan komt, en vervolgens komt die bui er dan niet.

Bij ons is dat ook altijd een probleem. We hebben een meteorologische dienst, die we altijd kunnen bellen voor advies als we het niet helemaal zeker weten. In de winter, als je zo'n herfstfront hebt dan weet je vaak dat het een lange tijd regent, dan gaat het ook echt regenen. Het zijn meer die zomer buien met onweer. Die duiken op, eerst is er op je radar niets te zien, dan een uur later heb je allemaal van die cluster buien. Waar die opduiken weet niemand. Dat weet ook het KNMI niet goed te voorspellen. Ook zij hebben maar een aantal metingen, dat is eigenlijk ook gewoon weer



een model. Wij gebruiken die weersverwachting weer in ons model. Het is een model in model. We hebben radarbeelden. We gebruiken Harmonie neerslag, dat komt eens per 6 uur binnen. Stel dat dat het niet meer doet dan hebben we Hirlam nog als back-up. Voor verdamping hebben we daar ook radarbeelden van. Daarnaast hebben we regenmeters.

### 5. Hoeveel regenmeters hebben jullie ongeveer in het gebied?

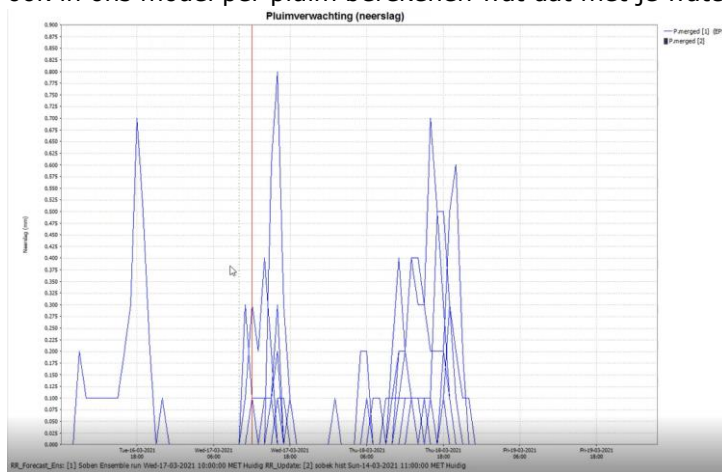
We hebben niet zo'n grote dekking, een stuk of 12. Op de achtergrond zit een hele hiërarchie, die kan uiteindelijk, als die metingen dan tot een neerslagreeks leiden, naar het model gaan.

Ik: Zit er dus een soort berekening achter?

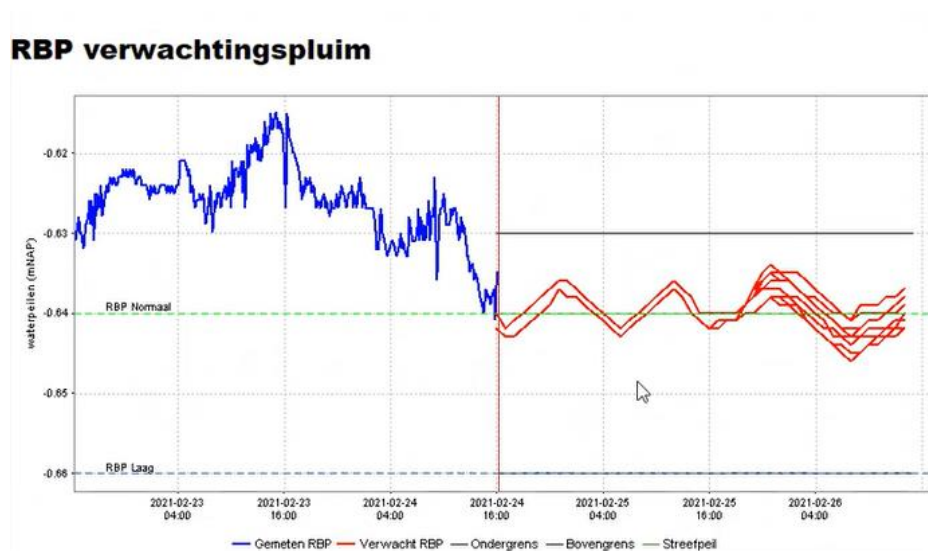
Ja, we gebruiken meerdere neerslag reeksen om uiteindelijk tot één ding te komen.

Ik: Gebruiken jullie daar dan meerdere radars voor?

Nee, het is gewoon één radar. We hebben ook een pluim verwachting (zie figuur 2) We kunnen dan ook in ons model per pluim berekenen wat dat met je waterstand doet (figuur 3).



Figuur 2 Pluim verwachting



Figuur 3 RBP-verwachtingspluim.

Er is dan een meest waarschijnlijk scenario, een worst case scenario en een best case scenario. In de zomer blijft het gewoon altijd gissen. We hebben ook wel intern afgesproken als we het dan hebben voorgemalen, en dat achteraf dan niet nodig was, dat jammer was. Op dat moment dat we die keuze maakte was dat gewoon het beste. Die radarbeelden komen nu eens per 6 uur binnen,

dat is best wel laat. Soms is het aan het regenen en dan moet het beeld nog worden bijgewerkt. We zijn bezig met een nieuw product van ██████, dat heet NowCasting. Dat moet een iets frequenter beeld opleveren, dat is eens per 2 of 3 uur. Veel mensen kijken ook nog steeds naar buienradar.nl dat geeft gewoon een goed beeld. Je weet pas achteraf hoeveel regen er uit die bui valt.

6. Worden er vooral peilmetingen gedaan bij het kunstwerk zelf (stuw,emaal,inlaat), of worden er ook metingen gedaan midden in de polder?

Ja, bij het geautomatiseerde kunstwerk hebben we metingen met sensoren. Bij handmatig bediende objecten hebben we een peilschaal. We hebben ook automatische sensoren achter in de polder als we dat belangrijk vinden, maar niet overal. Dat zijn losse loggers vaak op een zonnepaneeltje. Op dat punt heb je vaak geen stroom. Voor hele grote polders kan er best veel verschil tussen zitten. Om een goed beeld te hebben van je polder moet je meer meten. Het is de vraag of je dan aan één peilschaal genoeg hebt die één keer per maand wordt opgenomen of wil je constant ieder kwartier gegevens hebben.

7. Welke maatregelen zijn er genomen om de nauwkeurigheid van de berekeningen zoveel mogelijk te vergroten?

Sensoren kalibreren, modellen valideren, data-analyse achteraf. Dit is regulier werk, dat gebeurt constant. Buiten en binnen moeten we dit doen. Producten inkopen, je radarbeelden daar kan je ook een keuze in maken. Wij denken dat we met onze radarbeelden het beste product hebben dat er nu op de markt is. Met name de radarbeelden daar werken we als waterschap steeds meer mee samen. Uit het WIWB haalt het waterschap beelden. Dat is een gezamenlijke aanbesteding van het waterschap huis, daar betaalt iedereen aan mee en mag iedereen dat gebruiken.

8. Wordt er in het BOS-systeem gebruikt gemaakt van grens/signaal waardes, zo ja hoe werkt dit en hoe zijn deze waardes bepaald?

We hebben een beheermarge, dat geeft de vrijheid om daarin te spelen. Het belangrijkste is het peilbesluit. Daar moet je je gewoon aan houden. Dat mogen we zelf instellen, de ene zet het wat krappere dan de ander. Het hangt ook van het gebied af, want sommige gebieden hebben bij 5 centimeter al een wateralarm en bij sommige gebieden kan het peil 30 centimeter stijgen. Dat is peilbeheer inzicht, gebiedskennis.

9. Hoe wordt er omgegaan met het verschil tussen de realiteit en de berekeningen in BOS? Er kunnen bijvoorbeeld onverwachte omstandigheden zijn zoals een duiker die verstopt is, uitval van een stuw, of een kleiner beschikbaar volume in de watergang door oeverplanten of slib.

Wij hebben watersysteem beheerders die controleren of de watergangen schoon zijn. Je hebt wel een beetje 2 bewegingen bij ██████. Je hebt mensen die zeggen van "Ja, het model klopt niet, want de watergang is veel smaller, die duiker is veel krappere, pas het model aan" en je hebt ook de beweging die zegt van "Nee, het model is zoals het moet zijn, je moet ervoor zorgen dat de buiten wereld zo is". Dat is altijd een discussie. Je hoopt gewoon dat de watersysteembeheerder en de peilbeheerder elkaar telefonisch vinden zodat daar rekening mee kan worden gehouden, als ze zien dat de watergang begroeid is, stellen ze het watersysteem anders in.

Ik: Kan je dat doen. Stel dat een stuw uitvalt dat je kan zeggen dat die stuw er dan niet meer is, zodat je daar rekening mee kan houden in je berekening.

Niet zozeer uit het model, dan moet je heel het model aanpassen. Maar als je weet dat de stuw uitvalt en je weet hoe het watersysteem werkt dan kan je misschien ergens anders een stuw lager zetten om het water af te voeren. De modelvakjes zijn dusdanig versimpeld dat je het er niet eens inzet. Het ligt eraan op welk niveau je wilt kijken.

We hebben ook een project lopen dat heet 'polderlab'. We willen slimme manieren bedenken om dingen die we niet zien toch wel te kunnen zien. We willen bijvoorbeeld kijken aan de hand van de satellietbeelden hoe groen de watergang is. Met radarbeelden kan je dat met infrarood zien. Dat zegt iets over hoeveel begroeiing er is in de watergang. Als je dat bijvoorbeeld naast je gemaal legt, van hoe vaak gaat mijn gemaal aan en uit. Zit deze heel erg te pendelen, dan weet je bijvoorbeeld dat de aanvoer is belemmerd. Dat is een project dat sinds dit jaar loopt. Daar zijn nog geen resultaten van.

Er wordt wel veel naar nieuwe mogelijkheden en tools gezocht. Je kan aan het model zien dat er wordt voorgemalen. Dan weet het model dat deze aanstaat en neemt dat mee in zijn berekening. Dus hoe wordt er mee omgegaan, je zoekt constant naar verbeteringen.

10. Wordt er ook gebruik gemaakt van digitale kaarten, zo ja wat voor soort informatie wordt hierop getoond en wat voor soort data is hiervoor nodig?

Het hangt er een beetje vanaf wat je wilt zien. We hebben een heel team dat constant bezig is om dingen in kaart te brengen. Als zij aanpassingen doen heb ik dat gelijk automatisch gekoppeld. Dan weet ik vrijwel direct dat er iets is gewijzigd. Dat is ook allemaal geautomatiseerd bij ons.

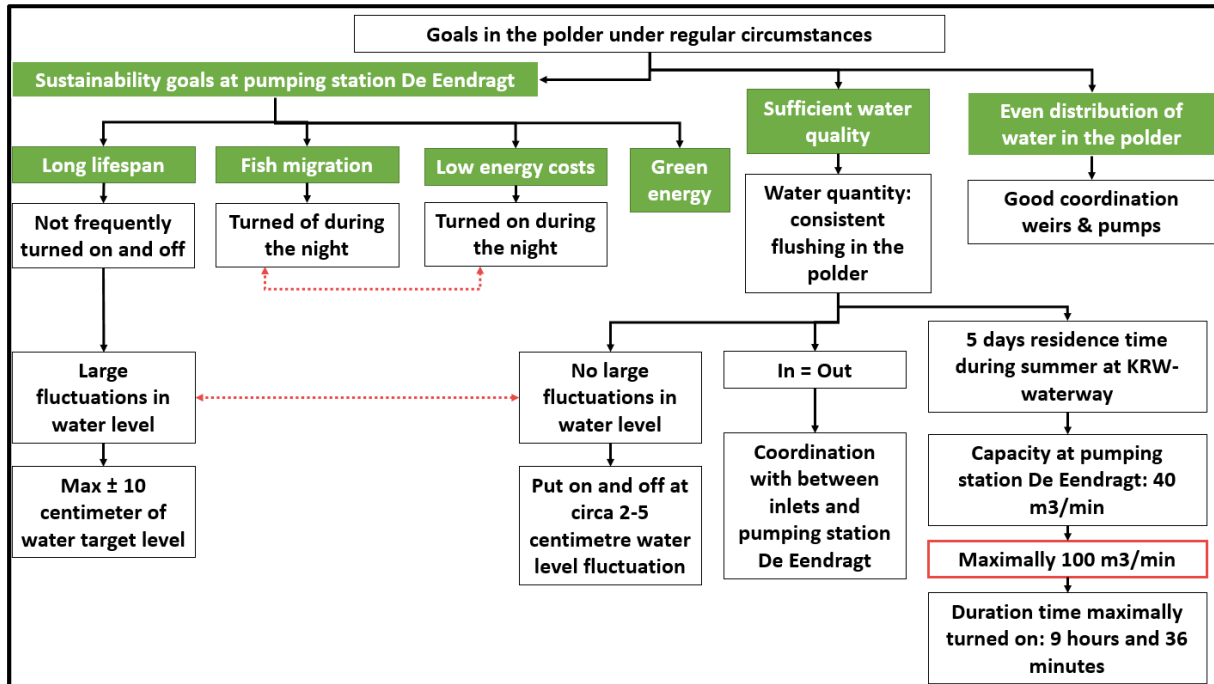
11. Terugkijkend op de ontwikkelingen binnen BOS, wat zijn de belangrijkste lessen die u heeft meegenomen (waar moet er in het begin goed rekening mee worden gehouden om er later profijt van te hebben?)

Het is belangrijk dat je goed je data op orde hebt. Als dat niet werkt, werkt ook je automatisering niet. Je moet mensen meekrijgen. Als mensen heel sceptisch zijn willen ze het vervolgens niet gebruiken. Je moet ook op de automatisering gaan vertrouwen, soms is menselijk inzicht wel gewoon beter. Het blijft een ondersteuning om je werk beter te doen.

-----

## 20. Appendix 14 Management regular circumstances goals for pumping station

A more detailed explanation is given regarding the figure below.



### **Sustainability goals at pumping station De Eendragt**

#### *Lifespan*

The lifespan of the pumping station can also be included as a sustainability aspect. The life expectancy of the pump diminishes faster when the engine is frequently turned on and off. This will result in higher energy and fuel use, and it will wear out faster. Precise numbers regarding the lifespan of the pump are not available due to the specific customization of the pump. Switching on the pump takes a fair amount of energy, at a certain speed the engine rotates most efficiently, this is not very slow or very fast (Hybens & Hamels, personal communication, 17 March 2021). To increase the life expectancy the pump will not be turned on at a water level rise of 1 centimeter but there will be waited till the water level has risen till 10, 15, 20 centimeters. By doing this the pump runs longer (Hybens & Hamels, personal communication, 17 March 2021).

Additionally, more extreme rainfall events could occur due to climate change. This could result in more frequent maintenance activities. There is a risk that the waterways in the polder are not dimensioned robust enough for more intense rainfall events. During and after a heavy rainfall event, water must quickly be pumped out of the system. At pumping station De Eendragt this can cause problems. Due to the high flow velocity, aquatic plants can be dragged along, and the banks can crumble (Kuipers, personal communication, March 11, 2021).

#### *Green Energy*

Renewable energy sources such as hydro, solar, and wind energy are defined as green energy (Gibson, Wilman, & Laurance, 2017). A report called "Smart pumping" (in Dutch "Slim malen") published by STOWA explained that it is most beneficial to turn on the main pumping station during periods with a high supply of green energy (Pothof, et al., 2019). During those moments the energy

costs are relatively low. This strategy is most effective in a robust water system. In a robust water system, the water level is allowed to fluctuate.

#### *Fish migration versus low energy costs*

In the context of sustainability, it is preferable to pump during the night due to lower energy costs (Hamels & Huybens, personal communication, March 17, 2021). This conflicts with fish migration. The opening of the Haringvliet sluices had made it easier for fish to migrate. The timing of fish migration is highly species dependent, fish migration mainly takes place during the night (Hartgers, Backx, & Walhout, 2001). This is most probably to lower the risk of predation by birds (Kemper Jan & de Bruijn, 2014). During spring (February till July) this movement is mainly from the sea to the river, during autumn (July till December) this movement is reversed (Reeze, Kroes, Quak, & Van Emmerik). During spring glass eels (small latches) and other fish species origination from the Haringvliet enter the Eendragt polder through pumping station the Eendragt (Hybens & Hamels, personal communication, 17 March 2021). The shallow small water waterways present in the polder easily warm up providing suitable spawning and growing areas for many fish species (Kroes & Monden, 2004). After a certain period, the grown fish leave the polder by the same pumping station. A lower discharge at pumping station the Eendragt will create a higher change that the fish leave the polder system unharmed. Currently fish migration is not yet considered into the pumping regime (Frijters, personal communication, 25 March 2021).

During the interview with Hybens and Hamels it was explained that pumping station the Eendragt consists of large fans, each paddle has a length of 1 meter, making it ideally for the fish to migrate. To enhance the fish migration during the night pumping station De Eendragt must be turned off, and the compartments must be opened. It was told that this will create a large opening for the fish to migrate. If during high tide in the Haringvliet the water level becomes too high this opening must be closed.

### **Sufficient water quality**

#### *No large fluctuations in water level*

Large water level fluctuations could have which a disturbing effect on nature (F. Kuipers, personal communication, March 11, 2021), and must therefore be prevented.

#### *In=Out*

The inlet and outlet locations are separated from each other, improving the flushing in the polder. Flushing in the polder can further be improved if the outgoing water equals the inflow of water. This can be achieved by a sufficient coordination between the inlets and pumping station De Eendragt.

#### *5 days residence time*

To reach a sufficient water quality during the summer months the residence time at the KRW-waterway may not be longer than 5 days. To achieve this a constant flushing capacity of 40 m<sup>3</sup>/min at pumping station De Eendragt is needed. After the renovation of pumping station, the minimum capacity of the Eendragt is 100 m<sup>3</sup>/min; the pumping station should be utilized for 9 -10 hours a day. More information can be found in Appendix 5 par 1.3.

### **Even distribution**

The water that is entering the Eendragt polder must evenly be distributed, this can be achieved with good coordination between the weirs and small pumps



## 21. Appendix 15 Chance of inundation

At WSHD the chance of inundation has been examined by performing SOBEK simulations. This resulted in the chance of inundation per recurrence interval of a given water level rise (T=10, T=25, T=50, and T=100). The simulation results have been summarized in Table 21.1 and visualized in Figure 3.20.

First, the average available storage space for each sub-polder in the waterways has been calculated (row 4, storage space = critical ground level – fixed water level). Thereafter, for each recurrence interval the average increase in water levels is given (rows 5 to 8). This has been used to investigate whether enough storage space remains available in the waterways, a negative value implies inundation. The following information is shown for each recurrence interval (T=10, T=25, T=50, and T=100) of a given water level rise: mm stored, m<sup>2</sup> area inundation, m<sup>3</sup> above fixed winter level, % area inundated.

This has led to the following conclusions. Sub-polders, P.H02.004.AP01, P-H02.004, P-H02.009 and in particular sub-polder P-H02.001 has no or little small storage available, during the intense rainfall events. Relatively most inundation during a T=100 recurrence interval occurs in sub-polders P.H02.004.AP01 (36%), P.H02.012 (26.6%), P-H02.001 (15%) and P-H02.009 (12.5%). This contrasts with sub-polders P-H02.006, P-H02.011, P-H02.007, P-H02.005, P-H02.002 and P-H02.008 that experience less inundation, 0.6%, 1.6%, 1.8%, 2.0%, 2.4% and 3.0%. During a T=100 recurrence interval, some of these sub-polders still provide a relatively large storage capacity.

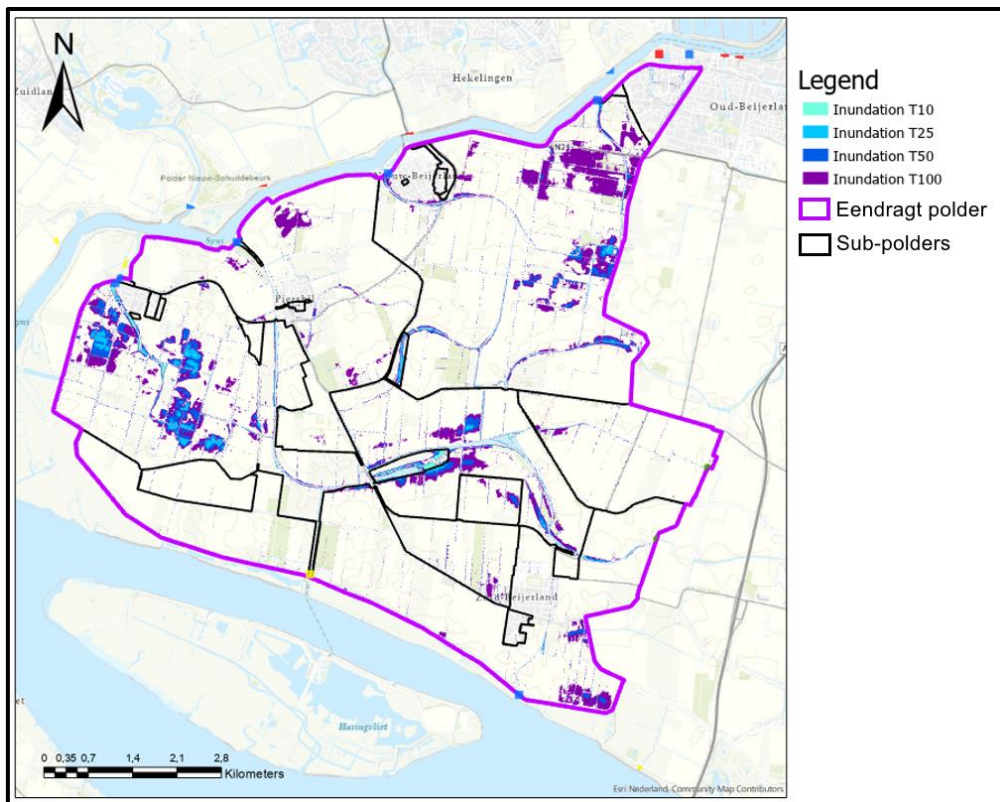


Figure 21.1 Chance of inundation per sub-polder per recurrence interval of a given water level rise (T=10, T=25, T=50, and T=100).

Table 21.1 Simulation results of WSHD Inundation per sub-polder per recurrence interval of a given water level rise (T=10, T=25, T=50, and T=100). See APPENDIX 20 TAB 1.

1		P- H02.001 (VP)	P- H02.002 (VP)	P- H02.004 (VP)	P- H02.005 (VP)	P- H02.006 (VP)	P- H02.007 (VP)	P- H02.008 (WP)	P- H02.009 (VP)	P- H02.011 (VP)	P- H02.012 (WP)	P- H02.004. AP01(VP)
2	Critical ground level (m NAP)	-1.53	-0.64	-0.81	-0.31	-0.33	-0.57	-0.31	-0.43	-0.31	-1.72	-1.08
3	Fixed water level (m NAP)	-2.00	-1.60	-1.75	-1.60	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50	-1.75	-1.25	-1.35
4	Storage space (m)	0.47	0.96	0.94	1.29	1.17	0.93	1.19	1.07	1.44	0.47	0.27
5	Water level increase T=10 (m)	0.68	0.39	0.52	0.58	0.42	0.50	0.58	0.76	0.54	0.16	0.12
6	Water level increase T=25 (m)	0.98	0.65	0.78	0.89	0.56	0.67	0.78	0.98	0.79	0.23	0.38
7	Water level increase T=50 (m)	1.17	0.83	0.96	1.13	0.67	0.83	0.93	1.13	0.95	0.31	0.55
8	Water level increase T=100 (m)	1.33	0.99	1.10	1.30	0.80	0.98	1.08	1.27	1.10	0.40	0.70
9	Storage space at T=10 (m)	-0.21	0.57	0.42	0.71	0.75	0.43	0.61	0.31	0.90	0.31	0.15
10	Storage space at T=25 (m)	-0.51	0.31	0.16	0.40	0.61	0.26	0.41	0.09	0.65	0.24	-0.11
11	Storage space at T=50 (m)	-0.70	0.13	-0.02	0.16	0.50	0.10	0.26	-0.06	0.49	0.16	-0.28
12	Storage space at T=100 (m)	-0.86	-0.03	-0.16	-0.01	0.37	-0.05	0.11	-0.20	0.34	0.07	-0.43
13	<b>T=10 (water level increase)</b>	<b>0.68</b>	<b>0.39</b>	<b>0.52</b>	<b>0.58</b>	<b>0.42</b>	<b>0.50</b>	<b>0.58</b>	<b>0.76</b>	<b>0.54</b>	<b>0.16</b>	<b>0.12</b>
14	mm stored	24.4	5.3	9.4	4.2	6.6	7.0	3.9	2.3	0.9	57.0	6.6
15	m <sup>2</sup> area inundation	119950	2500	31300	950	1850	15825	14675	7250	100	30025	2575
16	m <sup>3</sup> above fixed winter level	383633	45893	141984	16700	20504	61825	6937	1653	138	19132	905
17	% area inundated	0.8%	0.0%	0.2%	0.0%	0.1%	0.2%	0.8%	1.0%	0.1%	8.9%	1.9%
18	<b>T=25 (water level increase)</b>	<b>0.98</b>	<b>0.65</b>	<b>0.78</b>	<b>0.89</b>	<b>0.56</b>	<b>0.67</b>	<b>0.78</b>	<b>0.98</b>	<b>0.79</b>	<b>0.23</b>	<b>0.38</b>
19	mm stored	39.5	8.8	15.3	6.7	9.0	9.8	5.7	5.8	1.7	87.2	41.0
20	m <sup>2</sup> area inundation	541500	12950	146675	6100	4550	36200	18550	15500	375	47675	26575
21	m <sup>3</sup> above fixed winter level	622316	76548	229992	26360	27702	86080	10048	4130	252	29278	5621
22	% area inundated	3.4%	0.1%	1.0%	0.2%	0.1%	0.4%	1.0%	2.2%	0.3%	14.2%	19.4%
23	<b>T=50 (water level increase)</b>	<b>1.17</b>	<b>0.83</b>	<b>0.96</b>	<b>1.13</b>	<b>0.67</b>	<b>0.83</b>	<b>0.93</b>	<b>1.13</b>	<b>0.95</b>	<b>0.31</b>	<b>0.55</b>
24	mm stored	54.9	11.9	21.6	9.2	10.9	12.68	7.7	10.1	2.7	126.2	94.4
25	m <sup>2</sup> area inundation	1211450	55850	458725	29175	8700	71225	32975	32750	1025	67775	39450
26	m <sup>3</sup> above fixed winter level	864181	102745	325029	36178	33709	111467	13665	7201	399	42355	12929
27	% area inundated	7.7%	0.6%	3.1%	0.7%	0.3%	0.8%	1.9%	4.6%	0.7%	20.2%	28.8%
28	<b>T=100 (water level increase)</b>	<b>1.33</b>	<b>0.99</b>	<b>1.10</b>	<b>1.30</b>	<b>0.80</b>	<b>0.98</b>	<b>1.08</b>	<b>1.27</b>	<b>1.10</b>	<b>0.40</b>	<b>0.70</b>
29	mm stored	79.2	16.0	30.5	12.8	13.5	16.5	11.30	20.7	4.6	175.9	146.1
30	m <sup>2</sup> area inundation	2367625	210325	989525	77775	18925	157800	52750	88800	2350	89225	48750
31	m <sup>3</sup> above fixed winter level	1245811	138747	458198	50451	41627	145070	19972	14710	676	59044	20013
32	% area inundated	15.0%	2.4%	6.6%	2.0%	0.6%	1.8%	3.0%	12.5%	1.6%	26.6%	36%

## 22. Appendix 16 Equal filling degree simulation into SOBEK

In SCADA it is possible to look at both upstream and downstream levels when applying the strategy Equal filling degree. The strategy Equal filling degree is simulated into SOBEK. The assets present in SOBEK can however only be managed by looking at one measurement location. The crest level height of an adjustable weir is determined by the water level downstream of the weir. To simulate the effect of the Equal filling degree strategy into SOBEK, a Hydraulic Controller at the weirs has been used, see Figure 22.1.

### Start point:

Upstream 0% filled [water target level upstream] = Downstream 0% filled [water target level downstream]  
 Height crest level weir = Water target level upstream 0% - 0.02 m

### End point:

Upstream 100% filled [Cr.gr.l.<sub>upstream</sub>] = Downstream 100% filled [Cr.gr.l.<sub>downstream</sub>]  
 Height crest level weir = Use 100% of potential height [Cr.gr.l.<sub>upstream</sub> - h<sub>s</sub>]

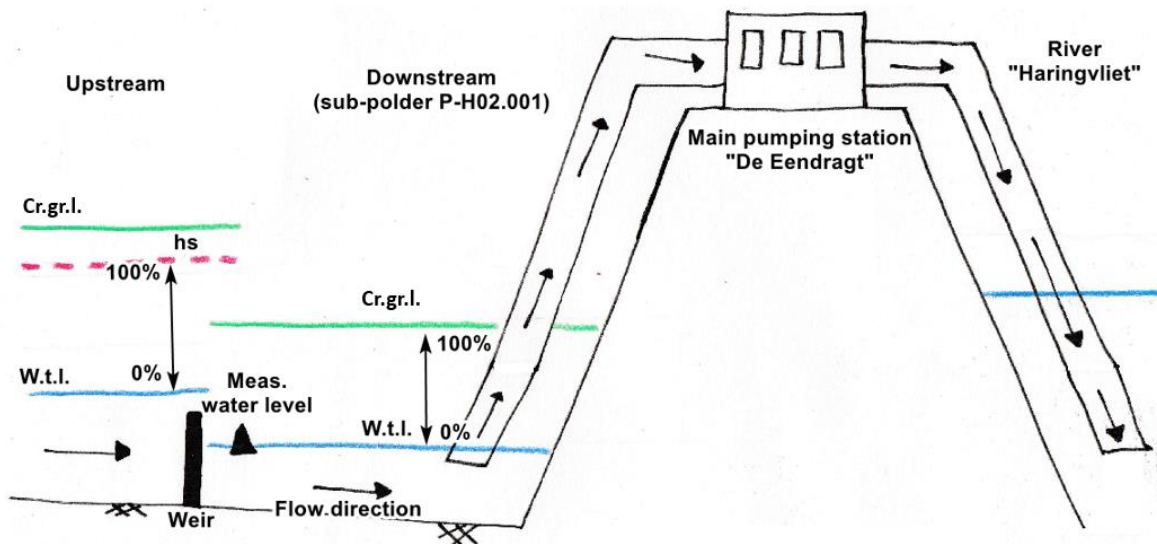


Figure 22.1 Schematisation Hydraulic Control into SOBEK. Cr.gr.l. = Critical ground level [m NAP], W.t.l. = Water target level [m NAP], h<sub>s</sub> = Overflow height weir [m]

The overflow height at the weirs has been calculated as follows (Hendriks, 2010, chapter 5 formula 5.41):

**Formula 1**  

$$Q = c * B * h_s^{3/2}$$
 Q = discharge [m<sup>3</sup>/sec]  
 C = coefficient [dependent on geometry of weir [used in SOBEK 1.7]]  
 B = width weir [m]  
 h<sub>s</sub> = overflow height weir [m]

The discharge at the weirs has been calculated as follows:

**Formula 2**  

$$Q = A * D_{dr} * 0.001$$
 Q = discharge [m<sup>3</sup>/sec]  
 A = Area [ha]  
 D<sub>dr</sub> = Water drainage standard [ $\frac{2 \text{ litre/sec}}{\text{ha}}$ ]

For the weirs 03195ST, 03198ST and 03196ST and in sub-polder P-H02.007 the discharge is determined by using SOBEK. The total discharge of the weirs (inclusive weir 03202ST) corresponded with the performed calculation in Formula 2. Appendix 20 EXCEL TAB 6, shows how this has been translated to the settings of the weirs in SOBEK.

## 23. Appendix 17 Risk informed management simulation into SOBEK

### 100% Filling degree (see Appendix 20, EXCEL, TAB 9)

At a "100% filling degree" the water level may rise from the water target level (0%) till the critical groundwater level (100%). Figure 23.1 shows the filling degree bandwidths for each phase of the sub-polders that are located upstream and downstream at weir "Noorddijk" (16329ST). Figure 23.2 shows how the corresponding water levels are calculated in sub-polder P-H02.005 at the end of phase 1. Figure 23.3 shows how the corresponding crest level height is calculated. The weirs present in SOBEK can only look at one measurement location. The simulation looks at the downstream water level to determine the corresponding crest level height.

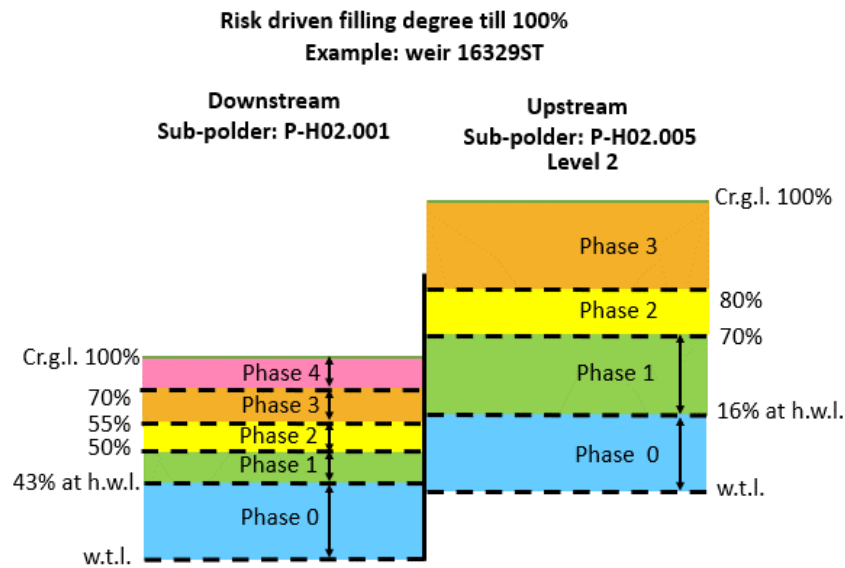


Figure 23.1 Bandwidths filling degree of the sub-polders downstream and upstream at weir "16329ST".

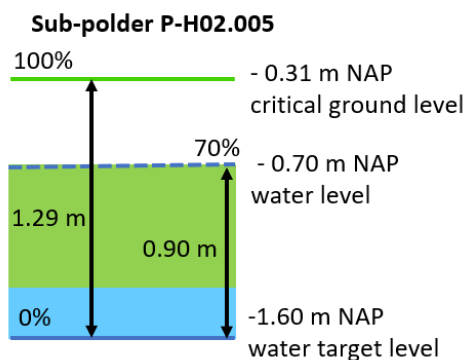


Figure 23.2 The maximal water level (100%) and 70% filling degree water level in phase 1 in sub-polder P-H02.005 with a vulnerability level 2.

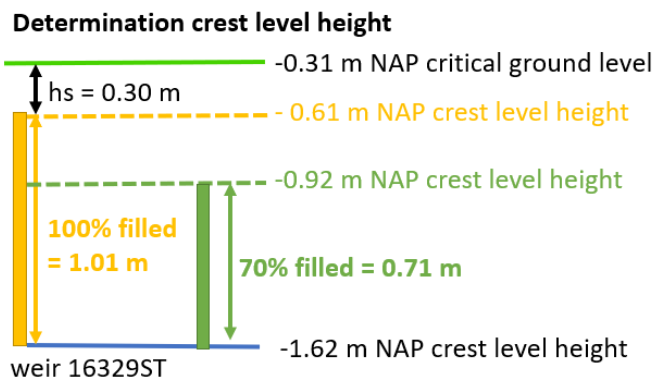


Figure 23.3 The corresponding crest level height in SOBEK of weir 16329ST if sub-polder P-H02.005 is filled for 70%. \* $h_s$  = overflow height (as explained in par 3.4.2.)

### Effective filling degree (see Appendix 20 EXCEL, TAB 8)

The "effective filling degree" strategy considers the maximal crest level height. At an "effective filling degree" the water level may rise from the water target level (0%) till the "maximal crest level + the overflow height ( $h_s$ )" (100%). Figure 23.4 shows how the corresponding water level is calculated in

sub-polder P-H02.005 and the end of phase 1. Figure 23.5 shows how the corresponding crest level height is calculated.

**Effective filling degree sub-polder P-H02.005 with limitation crest height**

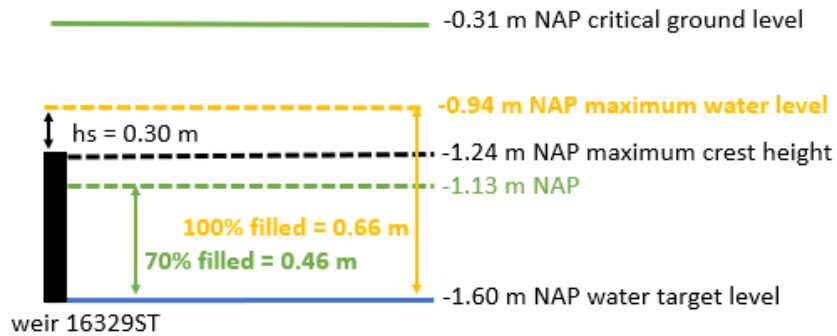


Figure 23.4 Maximal water level at 100% effective filling degree, and the corresponding water level 70% effective filling degree in at the end of phase 1.

**Crest height**

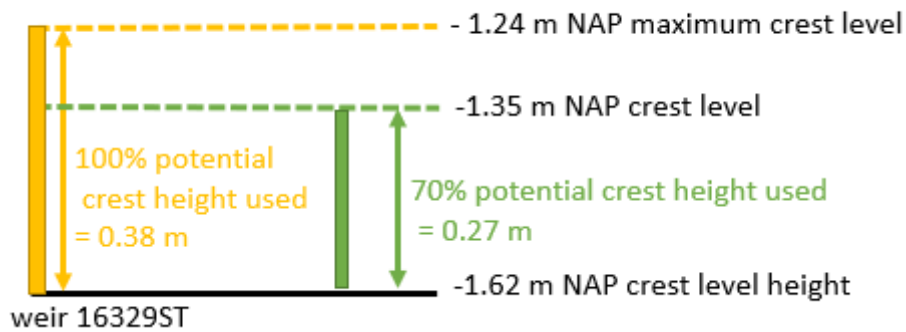


Figure 23.5 The corresponding crest level height in SOBEK of weir 16329ST if sub-polder P-H02.005 has a 70% effective filling degree.



## 24. Appendix 18 Excel file

[https://figshare.com/articles/thesis/Excel\\_Master\\_thesis\\_Nathalie\\_van\\_Tricht\\_6940420\\_WSM\\_xlsx/15104382](https://figshare.com/articles/thesis/Excel_Master_thesis_Nathalie_van_Tricht_6940420_WSM_xlsx/15104382)

TAB NB.	Name TAB
1	Chance inundation Table 0.1 Appendix 15
2	General info Contains general information regarding the sub-polders and assets present in the polder
3	Figure 3.25
4	Effect small pumps Table 3.15 thesis
5	Settings assets Settings of weirs, inlets, small pumps, and main pumping station De Eendragt during regular circumstances
6	Set. Equal filling degree Settings weirs Equal filling degree strategy
7	Risk informed man Risk informed management strategy 5 & 6. This has been based on Table 3.20 of main report.
8	Risk informed man. stra 5 Determination settings weirs for risk informed management strategy 5.
9	Risk informed man. stra 6 Determination settings weirs for risk informed management strategy 6.
10	Simulation results Simulation results strategy 1 to 6.
11	Algorithms The algorithms in to mitigate the effect of an intense rainfall event have been elaborated.

## 25. References

- Beijk, V., Haas, H., & Van Pagee, H. (2008). *Hoe zout wordt het zoete water*. Rijkswaterstaat.
- Clevering, O. A., Voogt, W., Aandekerck, G. L., Van Dam, A. M., & Van der Maas, M. P. (2007). *Zouttolerantie van landbouwgewassen*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
- De Vries . (2014). *Toetsing robuustheid Brielse Meer voor zoetwatervoorziening*. Deltares.
- Dingman, L. S. (2015). *Physical hydrology*. Waveland press.
- Gibson, L., Wilman, E. N., & Laurance, W. F. (2017). How green is 'green'energy? *Trends in ecology & evolution* 32 (12), 922-935.
- Hartgers, E. M., Backx, J. J., & Walhout, T. (2001). *Vis intrek in de Delta*. IenW.
- Hendriks, M. R. (2010). *Introduction to Physical Hydrology*. Utrecht, The Netherlands: OXFORD University Press.
- Hoogenboom, H. (2014). *Aquatische ecologie*. Zeist, Nederland: KNNV.
- HydroLogic. (2020). *Onderzoek lange termijn risico's verzilting en waterbeschikbaarheid*. WSHD.
- Kemper Jan, H., & de Bruijn, Q. A. (2014). *Monitoring van de vispassage Leeuwenmolen*. VisAdvies.
- KNMI. (2021). *Extreme neerslag*. Retrieved from [www.knmi.nl: https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/extreme-neerslag#:~:text=Vaak%20wordt%20extreme%20neerslag%20gedefinieerd,een%20dag%20met%20zware%20neerslag'](https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/extreme-neerslag#:~:text=Vaak%20wordt%20extreme%20neerslag%20gedefinieerd,een%20dag%20met%20zware%20neerslag).
- Kroes, M. J., & Monden, S. (2004). *Vismigratie*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Retrieved from [https://www.visadvies.nl/sites/default/files/bestanden/HANDBOEK%20VISMIGRATIE\\_2005.pdf](https://www.visadvies.nl/sites/default/files/bestanden/HANDBOEK%20VISMIGRATIE_2005.pdf)
- Kuipers, F., & De Ruiter, H. (2021). *Monitoringsplan verbeteren doorspoelen Eendragt ten behoeve van de waterkwaliteit*. Ridderkerk: WSHD.
- Lenderink, G., Attema, J., Van Oldenborgh, G. J., & Van Meijgaard, E. (2011). Intensiteit van extreme neerslag in een veranderend klimaat. *Meteorologica*, 17-20. Retrieved from [http://www.fourtythree.org/publications/intensiteit-van-extreme-neerslag-in-een-veranderend-klimaat/meteorologica20\\_2.pdf](http://www.fourtythree.org/publications/intensiteit-van-extreme-neerslag-in-een-veranderend-klimaat/meteorologica20_2.pdf)
- Loos, S., van Norel, H., Esenbrink, J., & Lobrecht, A. (H2O). Nieuwe beslissingsondersteunende systemen voor het operationele waterbeheer. *Platform*, 39-42.
- Ma, J., Zhou, Z., Guo, Q., Zhu, S., Dai, Y., & Shen, Q. (2019). Spatial Characterization of Seawater Intrusion in a Coastal Aquifer of Northeast Liaodong Bay, China. *Sustainability*.
- Maandag, H., & De Ruiter, H. (2018). *Optimalisering doorspoelen De Eendragt*. Ridderkerk: WSHD.
- Pothof, I., Piovesan, T., Vreeken, T., Loverdou, L., Talsma, J., Kuipers, H., . . . Van Esch, B. (2019). *Slim malen - Energie besparen?!* Amersfoort: STOWA. Retrieved from <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202019/STOWA%202019-27%20slim%20malen%20defdefversie.pdf>
- Reeze, B., Kroes, M., Quak, J., & Van Emmerik, W. (n.d.). *Vismigratie van de rivier naar zee en omgekeerd*. Haringvliet.nl. Retrieved from [https://haringvliet.nu/sites/haringvliet.nu/files/2016-05/Vismigratie\\_flyer\\_lowres.pdf](https://haringvliet.nu/sites/haringvliet.nu/files/2016-05/Vismigratie_flyer_lowres.pdf)
- Stoutjesdijk, E. (2015). *Gebiedsanalyse De Eendragt*. Ridderkerk: WSHD.
- Tideschart.com. (2021, 04 21). *Getijden in Haringvlietsluizen deze week*. Retrieved from [nl.tideschart.com: https://nl.tideschart.com/Netherlands/South-Holland/Gemeente-Westvoorne/Haringvlietsluizen/Weekly/](https://nl.tideschart.com/Netherlands/South-Holland/Gemeente-Westvoorne/Haringvlietsluizen/Weekly/)
- Van Gogh, I. (2014). *Het onderste boven*. Amersfoort: Stowa.
- Van Nguyen, V., & Wood, E. W. (1979). On the morphology of summer algae dynamics in non-stratified lakes. *Ecological modelling*, 117-131.
- van Overloop, P. J., Lobrecht, A., van Norel, H., & Vos, S. (2005). BOS Hoog Water Groningen. *H2O*, 36-39. Retrieved from <https://edepot.wur.nl/355299>
- Van Slooten, M. (2020, 05 26). *Met OWASIS de (droge) zomer door*. Retrieved from [www.hydrologic.nl: https://www.hydrologic.nl/met-owasis-de-droge-zomer-door/](https://www.hydrologic.nl)
- van Weeren, B.-J., Beersma, J., Peerdeman, K., Hakvoort, H., & Talsma, M. (2019). *Een actueel beeld van de kans op extreme neerslag*. Utrecht: Stowa.

Verdonschot, R. C., & Van Riel, M. C. (2020). *Effecten van zoutgehalte op macrofauna*. Amersfoort: Stowa.

Weerplaza. (2021). *Harmonie*. Retrieved from [www.weerplaza.nl](http://www.weerplaza.nl):  
<https://www.weerplaza.nl/weerkaarten/harmonie/>