



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2021

*Vervangings- en renovatieopgave
natte kunstwerken in Nederland*

Kennisbijdrage:

Bodemdaling

Een verkennend onderzoek naar de gevolgen van bodemdaling voor sluizen en stuwen en naar de bruikbaarheid van satellietdata voor het bepalen van die gevolgen.

Auteurs

Gerard Gaal (TNO trekker)
Hessel Voortman (Hessel Voortman Engineering Consultancy B.V.)

kenmerk : KpNK-2021-KV1.3-bodem-001
versie : 1.0
datum publicatie : 25 oktober 2022



Voorwoord

Kennisprogramma Natte Kunstwerken

Sluizen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen zijn belangrijke assets waarvoor beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen verantwoordelijk zijn. Veel van deze natte kunstwerken in de waterinfrastructuur bereiken de komende decennia het einde van hun (technische en/of functionele) levensduur. Zij kunnen daardoor hun functies naar verwachting niet meer adequaat blijven uitoefenen. Dit zal ten koste gaan van de mate waarin de waterinfrastructuur voldoet aan betrouwbaarheidseisen. In het kader van goed assetmanagement staan we dan ook voor de enorme opgave om deze kunstwerken te vervangen of te renoveren. Welke kennis hebben we nodig om dat efficiënt, kostenbesparend en toekomst-bestendig aan te pakken?

Deltares

MARIN



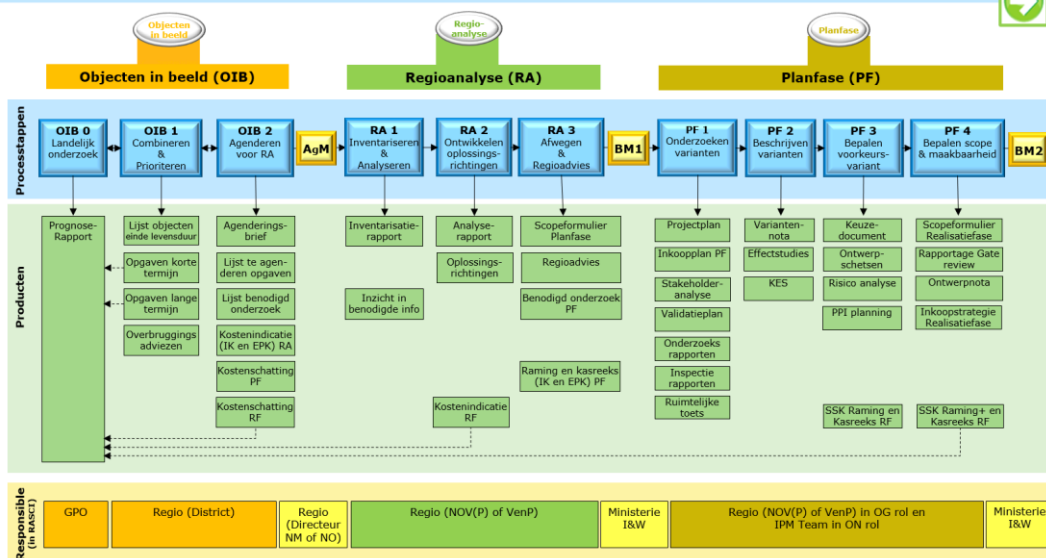
TNO

In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) ontwikkelen en bundelen Deltares, MARIN, TNO en Rijkswaterstaat deze kennis op basis van de Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken.

Werkwijze vervangings- en renovatieproces

De laatste jaren richten we ons niet meer uitsluitend op een-op-een vervanging van kunstwerken. We zoeken steeds meer naar mogelijkheden om hun levensduur te verlengen en (noodzakelijke) ingrepen te koppelen aan gebieds- en netwerkontwikkelingen en aan functionele ontwikkelingen. Rijkswaterstaat heeft als assetmanager een vernieuwde werkwijze voor dit vervangings- en renovatieproces (VenR) opgesteld om een uniform en systematisch proces te hebben waarmee een VenR-maatregel transparant onderbouwd kan worden (zie Figuur 1).

Procesketen VenR (tot aan Realisatie)



Figuur 1: Procesketen VenR binnen Rijkswaterstaat



Deze procesketen vormt de basis waar de kennisontwikkeling van het kennisprogramma aan bijdraagt.

Twee-stappen-benadering en drie kernvragen

De kennis die we ontwikkelen binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken draagt bij aan de stapsgewijze-benadering binnen deze Procesketen VenR:

- stap 1 (*Objecten in Beeld*): richt zicht op (het einde van) de technische levensduur van een kunstwerk en het agenderen van de VenR-opgave in het *Prognose rapport*;
- stap 2 (*Regioanalyse*): brengt vooral de relatie in kaart tussen het kunstwerk en de netwerken waar het (samen met andere kunstwerken) deel van uitmaakt. In het resulterende *Regioadvies* gaat het ook over (het einde van) de functionele levensduur.

Inhoudelijk vindt het onderzoek plaats aan de hand drie *kernvragen*:

1. Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee, zowel technisch als functioneel?
2. Welke alternatieven heb ik, behalve een-op-een vervanging?
3. Hoe weeg ik de alternatieven tegen elkaar af?

Programmaplan, jaarlijkse kennisplannen en samenwerking

Het programmaplan omvat de achtergronden en ambities voor de gehele looptijd van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken. Jaarlijks worden deze ambities uitgewerkt in een kennisplan en een bijbehorend financieringsplan. Andere partijen zoals waterschappen, adviesbureaus en andere (commerciële) organisaties, nodigen we uitdrukkelijk uit om deel te nemen aan het gezamenlijk uitvoeren van een kennisplan, bijvoorbeeld met kennisbijdragen in voor hen relevante onderzoeksprojecten, met praktijkervaringen of financiële bijdragen.

Resultaten delen

Bijdragen en onderzoeksresultaten uit ons Kennisprogramma Natte Kunstwerken delen we met de hele sector via onze website (www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl) en op andere manieren.

Hieronder vindt u een kennisbijdrage binnen werkpakket 'Bodemdaling' uit het kennisplan 2021. Het omvat eerst de samenvatting van het onderzoek 'Verkennen waarde van satellietdata voor kwantificeren risico's uit bodemdaling voor natte kunstwerken'. Deze activiteit is namens het Kennisprogramma Natte Kunstwerken geleid door TNO. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksverslag in de vorm van een onderzoeksrapport.

N.B. In verband met de Algemene Verordening Gegevensbescherming is het originele onderzoeksverslag door TNO ten behoeve van het publiceren op de website, alleen qua persoonsgegevens maar niet qua inhoud aangepast.



Kennisprogramma Natte Kunstwerken *Kennisplan 2021*

Meer informatie

- Het Kennisprogramma Natte Kunstwerken is de uitwerking van de onderzoekslijn 'Toekomstbestendige Natte Kunstwerken' binnen het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Zie www.waterenklimaat.nl

NKWK

- Voor meer informatie over het programma Kennisprogramma Natte Kunstwerken, zie www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl.



- Voor vragen over het Kennisprogramma Natte Kunstwerken en het kennisplan 2021 kunt u terecht bij Daan Dunsbergen, email daan.dunsbergen@rws.nl.
- Voor vragen over de voorliggende kennisbijdrage kunt u terecht bij de auteurs:

Gerard Gaal - gerard.gaal@tno.nl

Hessel Voortman - hessel@hesselvoortman.nl



Samenvatting

Bodemdaling

Een verkennend onderzoek naar de gevolgen van bodemdaling voor sluizen en stuwen en naar de bruikbaarheid van satellietdata voor het bepalen van die gevolgen.

Aanleiding

Bodemdaling als gevolg van gas-, olie- en zoutwinning – zogenoemde diepe bodemdaling - is een serieus probleem in Nederland. Maar ook ondiepe bodemdaling als gevolg van peilverandering, grondwateronttrekking e.d. leidt tot problemen. Het Planbureau voor de Leefomgeving heeft al in 2016 becijferd¹ dat bij gelijkblijvend beleid, de bodemdaling in het westen en noorden van Nederland kan leiden tot een schadepost van 22 miljard euro in 2050 aan wegen, riolering en gebouwen.

Naar het effect van bodemdaling² op sluizen en stuwen is nog weinig tot geen onderzoek gedaan. Met ons onderzoeksproject Bodemdaling willen we proberen vast te stellen of en hoe bodemdaling schade veroorzaakt aan sluizen en stuwen. Deze notitie beschrijft de eerste verkennende aanzet van dit project dat loopt van 2021 tot 2024.

Onderzoeksvraag en -opzet (WAT)

De onderzoeksvraag voor deze verkennende studie is: “Wat zijn de oorzaken en gevolgen van bodemdaling op sluizen en stuwen en wat is de ernst van bodemdaling?” De uitkomsten van deze onderzoeksvraag bepalen of het onderzoek wordt voortgezet. Het doel van het gehele onderzoeksproject is om in 2024 risico's van bodemdaling voor sluizen en stuwen te kunnen bepalen.

Onderzoeksaanpak en -methode (HOE)

In deze verkennende fase van het onderzoeksproject wilden we kennis verzamelen door middel van een literatuurstudie en een workshop met deskundigen. De literatuurstudie moest antwoord geven op de vraag wat al bekend is over het effect van bodemdaling op sluizen en stuwen en op andere grote civiele constructies. Het doel van de workshop was om beter de oorsprong van bodemdaling te kunnen duiden en een indruk te krijgen van mogelijk gevolgen van bodemdaling op sluizen en stuwen.

¹ [Nationale aanpak bodemdaling is niet compleet zonder onze dorpen en steden | Slappe Bodem](#)

² Om veranderingen van de bodem te beschrijven wordt zowel over bodemdaling als zettingen gesproken. De vraag dient zich aan wat de verschillen en overeenkomsten zijn tussen die twee termen. In de geotechniek spreekt men meestal over zettingen, maar dat is dan ten gevolge van bouwwerkzaamheden. De term bodemdaling wordt meestal gebruikt bij mijnbouw en verandering van waterpeilen. De mechanismen zijn evengoed hetzelfde, daling/zetting kan alleen door verkleining van poriën, met uitzondering van de zoutwinning.



Onderzoeksresultaten en synthese

De resultaten uit de literatuurstudie bleken beperkt te zijn. Er is één publicatie³ gevonden over een onderzoek naar vaste bruggen in Amsterdam. Daarin werd een duidelijke correlatie gevonden tussen (verschil)zettingen⁴ en rotaties enerzijds en waargenomen schades anderzijds. Daarbij is gebruikgemaakt van satellietdata⁵. Op basis van satellietdata kon bepaald worden bij welke bruggen verschillen in bodemdaling zijn opgetreden. Bij die bruggen bleek, bij visuele inspectie, schades vastgesteld te kunnen worden.

Weliswaar is een vaste brug een wezenlijk minder robuuste constructie dan een sluis of stuw, maar deze duidelijke correlatie doet vermoeden dat satellietdata ook gebruikt kunnen worden voor het bepalen van aan bodemdaling gerelateerde schades voor sluizen en stuwen. In het vervolg van het onderzoeksproject zal daarom eveneens de bruikbaarheid van satellietdata verder onderzocht worden.

Tijdens de workshop deelden experts de volgende kennis en verwachtingen:

- Zowel diepe als ondiepe bodemdaling wordt veroorzaakt door menselijk handelen. Diepe bodemdaling wordt meestal veroorzaakt door onttrekking van olie, gas of zout aan de bodem. Ondiepe bodemdaling wordt veroorzaakt door onttrekking van grondwater, veranderingen in het waterniveau, ontgravingen of door het gewicht van bouwwerken.
- Verschilzettingen hebben de grootste invloed op bouwwerken met een ondiepe paalfundering.
- Het functioneren van bewegende delen in een sluis of stuw, zoals kleppen en deuren, zal eerder negatief beïnvloed worden door bodemdaling dan het functioneren van de niet-bewegende delen. Zeker als het gaat om verschillen in bodemdaling.
- Het is lastig om de gevolgen van bodemdaling te kwantificeren omdat deze gevolgen zich langzaam ontwikkelen in de tijd. Het kan dus zijn dat gevolgen al aangepakt worden met regulier onderhoud of dat bodemdaling lastig te onderscheiden is van andere schadeveroorzakende mechanismen.

Evaluatie en vooruitblik

Op basis van de bevindingen uit de literatuurstudie en de workshop lijkt het zinvol om een pilotstudie te doen om te bepalen of een correlatie gevonden kan worden tussen verschillen in bodemdaling bij sluizen en waargenomen schades. Ter controle van een gevonden verband, worden ook sluizen bestudeerd waar geen verschillen in bodemdaling verwacht worden.

³ Dario Peduto, Francesco Elia, Rosario Montuori, *Probabilistic analysis of settlement-induced damage to bridges in the city of Amsterdam (The Netherlands)*, in *Transportation Geotechnics*, 2018, volume 14, p169-182.

⁴ Met een verschilzetting wordt bedoeld dat er een verschil in zetting optreedt tussen de diverse delen van een sluis of stuw.

⁵ InSAR - Interferometric Synthetic Aperture Radar



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2021

TNO INTERN

TNO report**TNO 2022 R11762****KV1 (remaining service life)
Subsidence – quick scan****Buildings, Infrastructure &
Maritime**Molengraaffsingel 8
2629 JD Delft
P.O. Box 155
2600 AD Delft
The Netherlands

www.tno.nl

T +31 88 866 20 00

Date	15 September 2022
Author(s)	Dr.Ir. G.C.M. Gaal
Copy no	
No. of copies	
Number of pages	16 (incl. appendices)
Number of appendices	2
Sponsor	Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Project name	Bodemdaling
Project number	060.47754/01.01.08

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm or any other means without the previous written consent of TNO.

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the General Terms and Conditions for commissions to TNO, or the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

© 2022 TNO

TNO INTERN

Contents

1	Introduction	3
2	Action plan	4
2.1	Vision 2024	4
2.2	Goal 2021	4
2.3	Plan 2021	4
3	Research results 2021	5
3.1	Literature study	5
3.2	Taxonomy Structures.....	5
3.3	Taxonomy Subsidence	6
4	Workshop	8
4.1	Introduction	8
4.2	Summary findings	8
5	Research outlook 2022	9
5.1	Goal	9
5.2	Research position	9
5.3	Research questions	9
5.4	Research method	10
5.5	Expected outcome	10
5.6	Related organizations	10
5.7	Team.....	11
6	References	12
7	Signature	13
A	Workshop bodemdaling 9 december 2021	14
B	Literature study - subsidence vs. hydraulic structures	15

1 Introduction

Dealing with subsidence is an important challenge for the Netherlands. Depending on the area in the Netherlands, the causes of subsidence could be glacial isostatic adjustment, subsidence of soft soils, groundwater extraction, water level management, gas extraction or salt mining. The Netherlands Environmental Assessment Agency (Het Planbureau voor de Leefomgeving) estimates the social costs of subsidence until 2050 at €22 billion for the whole of the Netherlands.

Currently very little is known about the effect of subsidence on hydraulic structures. Subsidence may affect the remaining technical and functional lifetime of a hydraulic structure. Technically, subsidence may overload the foundation, through negative skin friction¹ and/or may cause increasing stresses through uneven deformation which may pose a risk. Functionally, subsidence alters the water level with respect to the relative level of the structure. For example in case of a lock, this may result in water levels that cannot be properly controlled anymore (required water depth for navigation sluice or flushing sluice).

Therefore, the main aim of this work package is to assess and understand the existing and possible future effects of subsidence on hydraulic structures and how this can be taken into account in the risk quantification of these structures. Once these issues are defined, the following step will be to explore the potential of new generation monitoring tools, such as satellites.

One might argue how a hydraulic structure is defined. For now it is assumed as a man-made structure with movable parts like locks, weirs, storm surge barriers and pumping stations. The thinking behind this definition is that such structures are easier subjected to (functional and technical) problems due to subsidence than for example a quay wall.

¹ Negative skin friction is a downward shear drag which is acting on a pile foundation because of subsidence of surrounding soil relative to the pile foundation.

2 Action plan

This chapter will describe the long and short term plans to eventually reach the ability to be able to quantify the risks of subsidence for locks and weirs.

2.1 Vision 2024

The vision for this project is to be able to quantify the risks of subsidence for locks and weirs through satellite or airplane² observations, in 2024.

To gain a better understanding of the effects of subsidence on locks and weirs the goals and expected outcome for 2021 are described below.

2.2 Goal 2021

It turns out that very little is known about the effect of subsidence on locks and weirs. Therefore the project's goal in 2021 is to complete a literatures study and subsequently a quick scan to determine the causes, consequences and criticality of subsidence for locks and weirs.

2.3 Plan 2021

To overcome the lack of information, this year's plan contains the following steps:

- Literature study;
- Workshop
- Action plan for 2022.

² Actuele Hoogtekaart Nederland

3 Research results 2021

The research goal for 2021 was to have a better understanding of the effects of subsidence on hydraulic structures. Therefore a literature study is performed and subsequently a classification of structures and subsidence is documented. This to gain a better understanding of how the research question can be answered.

3.1 Literature study

A number of articles are identified which relate subsidence to damage to hydraulic structures. These articles are summarized in appendix B where also hyperlinks are provided to the original article (page 15).

An article discussing floodgates in China, suggest that a significant part (19%) of the financial damage to the hydraulic structures, for floodgates in China, is caused by subsidence. The main question is if such a number can be applied to Dutch hydraulic structures. For hydraulic structures in the Netherlands no literature could be identified which describes the extent of damage due to subsidence.

An interesting article provides a description of identifying settlement induced damage through remote sensing, for bridges in Amsterdam [Peduto 2018]. In this article movement of bridges is determined through INSAR data, with special attention to differential settlement and rotation. Subsequently for each bridge the observed damage is compared to differential settlement (with surrounding area) and rotation. One might argue if the results from bridges can be compared to locks which are much more robust. Surprisingly a criterium for selecting bridges as risk prone is a settlement of more than 2 mm/year. For a number of locks in the Groningen area, a larger annual settlement is reported. This could lead to a loss of functionality depending on the maintained water level and the settlement of the structure

In general, it can be concluded that little is known about damage/loss of functionality to hydraulic structures in the Netherlands due to settlement.

3.2 Taxonomy Structures

To gain a better understanding of the population of locks, the first step is to document the number of locks and their owners. There are approximately 300 locks in the Netherlands, which can be separated by their owner, see table below.

Table 1: Number of locks in the Netherlands, for each type of owner [source: www.rijkswaterstaatdata.nl]

	Number locks
Rijkswaterstaat	130
Cities	47
Port authorities	3
Waterboards	89
Provinces	80
Total	349

Through the provided locations below, combining with the subsidence map in the next section, it becomes possible to make a selection of potential critical locks. Due to budget constraints it was not possible to make this selection in 2021.

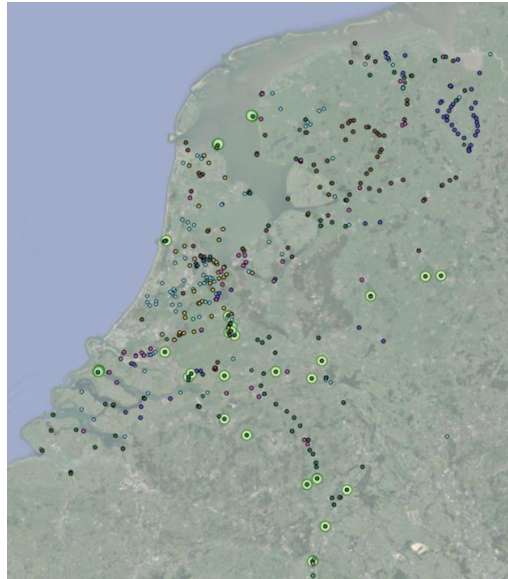


Figure 1: Location of locks listed in Table 1

Unfortunately no detailed information is available for the 349 locks, like material of construction and whether or not a pile foundation is used. For reference, the first Dutch code for concrete structures was published in 1912 [Kivi 1912]. Which provides an indication of when the material of choice shifted from masonry to concrete. Still one of the largest locks in the Netherlands, made out of concrete, the Noordersluis in IJmuiden, was built between 1922-1924 [Nijland 2021]. One could argue that starting from the early 20th century, concrete was the material of choice, while older locks are made of masonry. One could say that such a statement is not very scientific, however identifying different materials of construction will help selecting locks for detailed research.

3.3 Taxonomy Subsidence

There are many factors contributing to the total experienced subsidence. These causes could be natural like Glacial Isostatic Adjustment and other parameter like soil conditions and changing ground water levels due to evaporation or extended periods without rain. It is generally accepted that effects of natural causes on subsidence have a smaller effect than the man made contribution to subsidence. The man made effects caused by mine activities like gas, oil and salt extraction will result in deep subsidence and changes in (ground) water level. The red areas in the subsidence map in Figure 2 shows areas where, over the period of 2015-2020, subsidence is observed of 5 mm/year or more. Many of the red colored areas in the map correlate with gas extraction.

The subsidence of the ground level is indicated in the InSAR map Figure 2 through a color coding (green = app. 0 mm/year; yellow = app. 2 mm/year; red = 5 mm/year of more). Exceptions are areas near Veendam with 20 to 30 mm/year, 5-10 near

Rotterdam and de Lier, and raising ground level with about 5 mm/year near Urmond. The latter is probably connected to raising water levels in former coal mines.

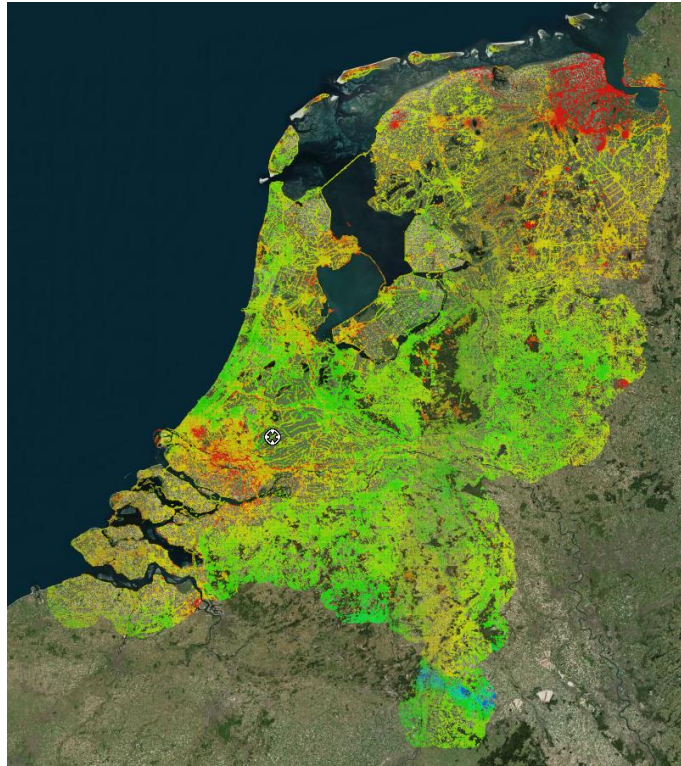


Figure 2: Subsidence map [source: skygeo.com]

4 Workshop

4.1 Introduction

The aim for workshop is to define the possible issues related to the effects of subsidence on hydraulic structures. The research will focus on the causes and the effects of subsidence on the different types of structures, to be used as input for future research on monitoring strategies and risk assessment. The goal of the workshop is that by the end of the workshop there is a better understanding of causes, consequence and criticality.

The participants shared their knowledge about subsidence and the effect on hydraulic structures. The potential causes, consequences and criticality are documented in appendix A.

4.2 Summary findings

This section lists the main findings from workshop.

- The experts in the workshop expect that man made subsidence, both deep and shallow are the leading cause for damage to structures. The specific effect on hydraulic structures depends on primary material (concrete or masonry) and whether or not a pile foundation is used.
- The deep subsidence is mainly caused by hydrocarbon or salt extraction, where shallow subsidence is caused by changes like extraction of ground water, water level changes, excavations and the weight of the structure itself.
- The experts expect that differential subsidence is most critical for structures with a shallow pile foundation, where structures with a deep pile foundation will experience less uneven settlement.
- Hydraulic structures with movable parts, like doors, might be more prone to subsidence than structures without movable part. The reasoning behind this consequence is that the margins of error for those movable parts are relatively small. For example a door in a lock could start leaking as a result of a small uneven settlements.
- When there is a difference in settlement between the hydraulic structure and the soil, a gap might develop underneath the hydraulic structure. A flow of water could develop which affects the core function of the lock i.e. maintain a difference in water levels on both sides of the lock. In general, this effect is mitigated by screens which prevent from this piping effects
- Another consequence of subsidence is that due to shallow settlement it is required to lower the water table, which increases the relative height of hydraulic structures. For example due to shallow settlements a weir's crest becomes too high or the water height in a sluice, relative to the floor, becomes too small.
- It is difficult to quantify the criticality of subsidence for hydraulic structures. Some effects of subsidence, like gaps underneath the structure, are corrected through regular maintenance, where slow developing stresses in structures will cause sudden damage like cracks. In general, the latter types of damage could have multiple causes which makes it hard to quantify the specific contribution of subsidence to the observed damage.

5 Research outlook 2022

Each year, an action plan is written to provide guidance for the researchers. This chapter provides input for the action plan 2022. The final version of this chapter needs to be discussed with relevant persons who are responsible for SMO budget and water management.

5.1 Goal

The 'Kennisprogramma Natte Kunstwerken' aims at gaining a better understanding of remaining service life for locks and weirs. Until now, little is known about the effect(s) of subsidence on locks and weirs. The outcome of this research project can help owners of locks and weirs in improving design and maintenance of their structures. This to stretch the remaining service life of the structures.

5.2 Research position

In 2022 this research project will be in the phase which is called in Dutch 'vergaren/toetsen in de praktijk'. The ideas and working hypothesis collected during the literature study and workshop will be verified through data collection in the real world.

The workshop identified that it is hard to quantify the effects of subsidence. It is suggested to follow two paths for verification. First, a project for correlating damage of fixed bridges in Amsterdam to the observed settlement proved to be successful. A bridge is quite different from a hydraulic structure however completing a similar analysis for hydraulic structures might provide valuable information whether or not a similar correlation can be identified between subsidence and technical or functional damage. The second path is to verify the observed damage at a lock for which we know that uneven settlement is not expected. This to verify a hypothesis from the first path about damage to locks which probably don't experience (uneven) settlement. This second path is a result of the outcome of the workshop where it was indicated that it is hard to determine whether observed damage is actually caused by subsidence or other phenomena. Early 2023 the Roggebotsluis will be demolished for which damage due to subsidence is not expected. It is expected that the Roggebotsluis will show no subsidence induced damage. Therefore the detailed visual inspection at the to be demolished Roggebotsluis will help to collect inspection results which could help understand damage at hydraulic structures without uneven settlement. This lock was built in 1955 and might potentially show damage which could be, or not, be traced back to subsidence.

5.3 Research questions

The outcome of the workshop suggests that the effect of subsidence on locks is hard to determine. Therefore the research question is: "Can observed damage to lock be traced back to subsidence as the cause?"

5.4 Research method

Through observing damage on locks, both visual and data analysis, the most likely causes of damage should be identified.

It is known that Rijkswaterstaat completes deformation measurements for some hydraulic structures. It is suggested to determine for which structures these measurements are completed and if these could be used within the Kennisprogramma.

The suggested research consists of being able to correlate subsidence with damage and deformation observed on locks. The deformation is important for the earlier mentioned functional aspect which might be affected, e.g. leakage past movable parts. The difficulty is that the exact cause of settlement of a hydraulic structure could originate from many causes. For 2022 the following steps are suggested:

- Identify potentially critical locks by combining the subsidence map from skygeo with the maps of the 349 locks in the Netherlands.
- Verify if deformation measurements are available from owners, like Rijkswaterstaat
- Verify if inspection reports are available. Possibility of Machine Learning analysis has it preference because of budget constraints and being able to analyze a larger number of locks.
- Make a selection of locks for further analysis based on material of construction (concrete/masonry), size (especially length and width), soil conditions and mining activities in the area.
- Identify correlations between subsidence and observed damage to locks.

Through this analysis it is expected that by the end of 2022, one is able to identify locks which are vulnerable to damage and damage in locks can be traced back to subsidence. The benefit for the owner is to gain a better understanding of the behavior of its lock, how to maintain it and how to improve designing future locks.

5.5 Expected outcome

The expected outcome is document which reflects on the outcome of the research in 2022 and provides an action plan for 2023.

5.6 Related organizations

A number of organizations are relevant for this research project for both budget, data and eventually gain

- Rijkswaterstaat
- Provinces
- Cities
- Water boards

When it comes to information about locks and weirs the following organizations are of interest:

- Stichting Historische Sluizen en Stuwen in Nederland
 - <https://www.sluzienenstuwen.nl/>

- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
 - Monumentendatabank³
<https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/rijksmonumentenregister/monumentendatabank>

5.7 Team

The following teams members are expected to provide input to the 2022 results.

- Ece Ozer
- Martijn de Jong (RWS)
- Ad van 't Zelfde
- Esra Bektas
- Gerard Gaal
- Chris Geurts
- Jitse Pruiksma
- Huibert Borsje

³ There are approximately 60 structures which are classified as locks or weirs which are listed in the 'monumenten databank'. Some are operated by Rijkswaterstaat, like the Haringvlietsluizen and Hollandsche IJsselkering.

6 References

Kivi, Koninklijk Instituut van Ingenieurs, afd. voor Bouw- en Waterbouwkunde (1912): Gewapend-Betonvoorschriften. Amsterdam, L.J. Veen uitgever, (Dutch reinforced concrete standard 1912, in Dutch).

Nijland, T., Heinemann, H. (2021): The Northern Lock, the Netherlands: At the frontier of 1920s concrete technology. History of Construction Cultures.

Dario Peduto, Francesco Elia, Rosario Montuori, Probabilistic analysis of settlement-induced damage to bridges in the city of Amsterdam (The Netherlands), in Transportation Geotechnics, 2018, volume 14, p169-182.

A Workshop bodemdaling 9 december 2021

This appendix describes the outcome of the workshop about subsidence, on Thursday December 9th, 2021.



**KUNSTWERKEN EN BODEMDALING -
VERKENNING**

TNO

***Verslag van
brainstorm***

09 december 2021





Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	4
2. Oorzaken, gevolgen en criticality	5
3. Onderzoeksvragen.....	7
Bijlage 1; Resultaat brainstorm.....	8
Colofon	10

1. INLEIDING

Algemeen

Omgaan met bodemdaling is een belangrijke uitdaging voor Nederland. Bodemdaling kent vele natuurlijke en menselijke oorzaken. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) schat de kosten van bodemdaling aan gebouwen en stedelijke infrastructuur tot 2050 op 22 miljard Euro.

Nederland kent een uitgebreid stelsel van waterwegen en waterkeringen. Daarmee wordt het land beschermd tegen overstroming, wordt jaarrond gezorgd voor voldoende en niet teveel water en is transport over water mogelijk. Voor deze functies zijn in Nederland een groot aantal waterbouwkundige kunstwerken aanwezig.

Er is maar heel weinig bekend over de effecten van bodemdaling op waterbouwkundige kunstwerken. Het areaal kunstwerken veroudert, maar of die veroudering beïnvloed wordt door bodemdaling en hoe dit proces zich verhoudt tot andere verouderingsprocessen is onduidelijk.

Dit rapport beschrijft een verkenning van de problematiek die in 2021 is uitgevoerd. De verkenning bestond uit een brainstormsessie met specialisten van TNO.

Voorliggend rapport

Dit rapport bevat een samenvatting van de resultaten van de workshop en een beperkte verdere verkenning van de problematiek voorafgaand en na de workshop. De deelnemers aan de workshop zijn vermeld in bijlage II.

Het rapport is opgesteld door Hessel Voortman, werkzaam bij Hessel Voortman EC B.V. in opdracht van dhr. Gerard Gaal van TNO.

2. OORZAKEN, GEVOLGEN EN CRITICALITY

Onderwerpen van de brainstorm

De brainstorm is uitgevoerd in drie rondes:

- Oorzaken van bodemdaling
- Gevolgen van bodemdaling
- Criticality van bodemdaling

De resultaten van de brainstorm zijn opgenomen in een *mindmap* in bijlage I. Hieronder vatten we de bevindingen per onderdeel kort samen.

Oorzaken van bodemdaling

Bodemdaling kan ontstaan door natuurlijke oorzaken of door antropogene (menselijke) oorzaken. Verder kunnen de processen zich afspelen vanaf het maaiveld tot op zeer grote diepte.

Van de natuurlijke oorzaken wordt Glacial Isostatic Adjustment (vervorming aardmantel na de laatste ijstijd) als verwaarloosbaar beschouwd. Verdere natuurlijke oorzaken of beïnvloeders zijn de aanwezige grondopbouw (grondsoorten, lagenopbouw, aanwezigheid van waterlopen) en droogte (inclusief de invloed van klimaatverandering).

Antropogene oorzaken worden door de groep als dominante oorzaken beschouwd. Deze oorzaken liggen zowel in de diepe ondergrond als ondiep. In de diepe ondergrond gaat het onder meer om delfstoffenwinning en geothermie. Ondiep speelt grondwateronttrekking, peilveranderingen, ontgravingen, ophogingen en het gewicht van bouwwerken zelf. Deze oorzaken leiden op diverse manieren tot zettingen. Onder meer door spanningsveranderingen en holtevorming in de ondergrond maar ook, aan het oppervlak, door oxidatie van veen.

Effecten op waterbouwkundige kunstwerken

Bodemdaling heeft directe en indirecte effecten op kunstwerken. De directe effecten bestaan uit vervormingen en zakkingen van de kunstwerken en het toenemen van belastingen op funderingen. De groep beschouwt verschilzettingen/vervormingen als het meest kritisch bij ondiep gefundeerde kunstwerken. Diep gefundeerde kunstwerken kunnen wel zetting ondergaan, maar door de diepte van de fundering spelen verschillen weer minder een rol.

Bij kunstwerken met bewegende onderdelen (keermiddelen) kunnen kleine vervormingen tot problemen leiden omdat de tolerantie op dergelijke onderdelen vaak klein is. Functieverlies treedt dan op ruim voordat de constructie zelf schade vertoont. Hoogteverlies treedt geleidelijk op en kan op termijn leiden tot functieverlies. Bij constructies op paalfunderingen kan zetting leiden tot extra belastingen op de palen door negatieve kleeft.

Zettingsverschil tussen kunstwerk en omgeving kan tot veel problemen leiden. De aansluiting tussen een kunstwerk en de bodembescherming kan een naad gaan vertonen

Kunstwerken en bodemdaling

Verkenning

waardoor materiaalverlies kan optreden. Onder een kunstwerk kan een spleet ontstaan die kan leiden tot onder- of achterloopsheid. Hetzelfde fenomeen kan ook optreden als door zettingen de aansluiting van kwelschermen op de constructie verloren gaat.

Indirecte effecten doen zich voor omdat de omgeving zich aanpast op optredende bodemdaling. Bodemdaling kan het noodzakelijk maken dat streefpeilen in een gebied moeten worden verlaagd. Als gevolg daarvan liggen kunstwerken dan te hoog (kruinen van stuwen, drempels van schutsluizen) of paalkoppen komen droog te liggen waardoor houten palen gaan rotten.

Criticality

De criticality van bodemdaling blijkt lastig aan te geven. Dit heeft een aantal oorzaken. Ten eerste zijn de effecten van bodemdaling zeer gevarieerd. Gedeeltelijk worden de effecten in het beheer van kunstwerken ondervangen. Bijvoorbeeld naadvorming tussen kunstwerk en bodembescherming wordt opgelost via "regulier" onderhoud. Lastiger zijn fenomenen die zich sluipend voordoen en/of die onzichtbaar zijn. Voorbeelden daarvan zijn een geleidelijke toename van belastingen dat bij overschrijden van de draagkracht plotseling schade gaat geven, of verlies van aansluiting van een kunstwerk op de omgeving wat zich pas laat zien op het moment dat bij hoog water piping wordt geconstateerd.

Een ander probleem is dat schadebeelden (scheuren, zandmeevoerende wellen) weliswaar waarneembaar zijn maar dat het vaak niet evident is veroorzaakt door bodemdaling. Vaak zijn er meerdere verklaringen mogelijk.

Voorbeeld-objecten

Er worden diverse voorbeeld-objecten genoemd waar zettingen mogelijk een rol spelen in gerezen problemen met de constructie. In het overzicht in de bijlage zijn ze opgenomen. Alles met de hierboven gemaakte kanttekening dat het vaak niet duidelijk is of en in welke mate bodemdaling een rol speelt.

3. ONDERZOEKSVRAGEN

Kwalitatief kunnen aan bodemdaling diverse fenomenen worden toegeschreven. Tegelijkertijd is het in de praktijk lastig om schadebeelden en gedrag van de constructie eenduidig te koppelen aan bodemdaling. Op grond van de verkenning komen de volgende onderzoeksvragen naar voren:

- Heeft zetting/bodemdaling effect op de functionele en technische levensduur van kunstwerken?
- Zo ja, hoe groot is dat effect, en...
- ... hoe verhoudt dit effect zich tot andere fenomenen, zoals chemische aantasting, vermoeiing etc.

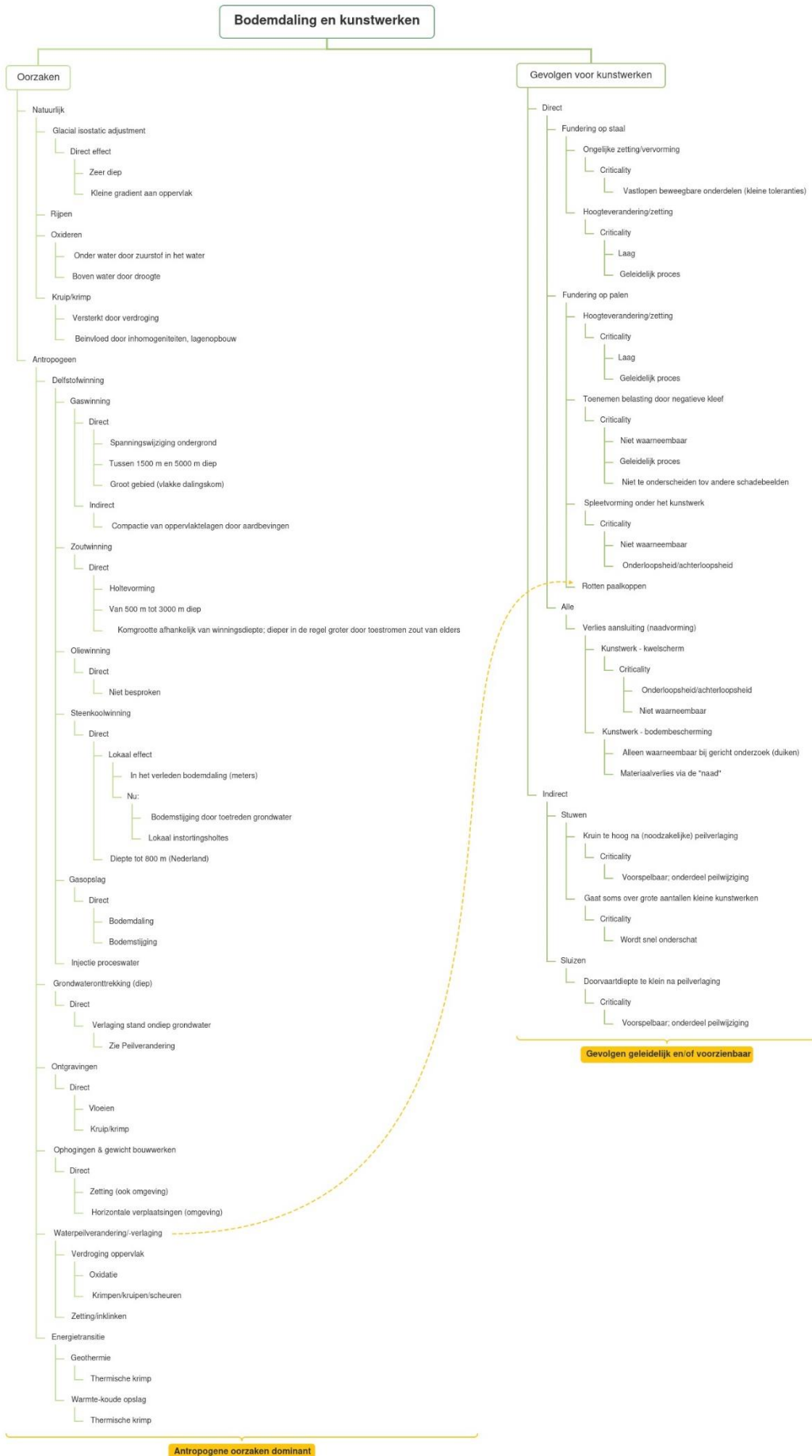
Onderdeel van de aanpak van dit onderzoek, onderkent in de brainstorm, kan zijn:

- Onderzoek naar historische kunstwerken met schades en vaststelling of deze schades veroorzaakt kunnen zijn door zetting en/of bodemdaling. Een mooie gelegenheid doet zich voor in 2022 bij de Roggebotsluis die buiten dienst wordt gesteld en gesloopt.

BIJLAGE I; RESULTAAT BRAINSTORM

Kunstwerken en bodemdaling

Verkenning



BIJLAGE II; DEELNEMERS BRAINSTORM

TNO:

- Chris Geurts, expert resilience en bodemdaling in gebouwde omgeving
- Huibert Borsje, expert forensisch schade onderzoek
- Jitse Pruiksma, expert interactie grond-constructie
- Ad van 't Zelfde, manager kennisprogramma natte kunstwerken
- Gerard Gaal, senior consultant Risico & Betrouwbaarheid

Hessel Voortman EC:

- Hessel Voortman, onafhankelijk expert waterbouwkundige constructies

COLOFON

Kunstwerken en bodemdaling - verkenning

Verslag van brainstorm

Auteur

Dr. ir. Hessel G. Voortman

Datum

22 december 2021

Identificatie opdracht

- Identificatie TNO:
 - Bestelnummer 3100328271
 - Contactpersoon: Dr. Ir. G.C.M. Gaal
- Identificatie Hessel Voortman EC B.V:
 - Project: 2021_023, Kunstwerken en bodemdaling
 - Offerte: 2021-0008

Hessel Voortman EC B.V.

Rubenslaan 57
3862 ZL Nijkerk
+31 6 2706 1194

Bezoekadres:

Apollo Workspaces, kantoor 4A
Patroonstraat 1
3861 RN Nijkerk

hessel@hesselvoortman.nl

www.hesselvoortman.nl

KvK nr. 8238 2883

B Literature study - subsidence vs. hydraulic structures

The references listed in this appendix are collected and summarized by Ece Ozer and Ioannis Koune.

[Australian Centre for Geomechanics | Conference Paper: Detection of subsidence affecting civil engineering structures by using satellite InSAR \(uwa.edu.au\)](#)

InSAR monitoring of hydraulic lock structure affected by subsidence due to gypsum dissolution near Stuttgart, Germany. The main focus of the paper is the evaluation of the monitoring technique. No information on the economic loss but other sources estimate the cost of repairs for the nearby dam to be close to 15-20% of the cost of the dam itself ([Link](#)).

[\(PDF\) Land Subsidence Disaster Survey and Its Economic Loss Assessment in Tianjin, China \(researchgate.net\)](#)

An estimated 19% of damage to floodgates and culverts in Tianjin, China, in the period 1950 - 2007 can be attributed to land subsidence. The economic loss is estimated at 0.793B Yuan (~100M Euro). Combined damage to water transportation systems, irrigation, flood draining, agriculture well reservoir withdrawal etc. is about 1B Euro.

[Framework for economic cost assessment of land subsidence \(springer.com\)](#)

"Subsidence can cause significant structural damage and increased maintenance costs to transportation, sewage and water management infrastructure and buildings, as well as lead to indirect damage such as increased food risk due to the loss of elevation" Only mentions in general damage to "surface water management systems". Not clear what this includes.

[ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFECTS OF SUBSIDENCE \(escholarship.org\)](#)

Contains some references to damage due to land subsidence for various types of buildings. Contains an interesting table with allowable angular distortion or tilt or lateral strain for various types of structures (e.g. circular, long, 1,2,... stories etc.)

[Fragility curves for thin-walled cold-formed steel wall frames affected by ground settlements due to land subsidence | Elsevier Enhanced Reader](#)

Details on a procedure for calculation of fragility curves for thin-walled cold-formed steel wall frames due to subsidence. The moment rotation characteristics of thin walled [...] for different sheathing materials are obtained experimentally by push-over tests. Non-linear models are then built using SAP and the fragility curves for variations of the structural parameters are calculated.

[Empirical fragility curves for settlement-affected buildings: Analysis of different intensity parameters for seven hundred masonry buildings in The Netherlands | Elsevier Enhanced Reader](#)

[Investigating the Behaviour of Buildings with Different Foundation Types on Soft Soils: Two Case Studies in the Netherlands | Elsevier Enhanced Reader](#)

[Multi-scale analysis of settlement-induced building damage using damage surveys and DInSAR data: A case study in The Netherlands | Elsevier Enhanced Reader](#)

Various papers by D. Peduto et al. with a focus on settlement damage on masonry buildings (mostly/exclusively residential?)

[Probabilistic analysis of settlement-induced damage to bridges in the city of Amsterdam \(The Netherlands\) - ScienceDirect](#)

Analysis of settlement damage for bridges in Amsterdam. Not specific to the types of hydraulic structures that are of interest to us but the introduction contains several references to studies of the allowable deformation of structures.