

Afstudeerscriptie:

VIJZELBAAR BOUWEN

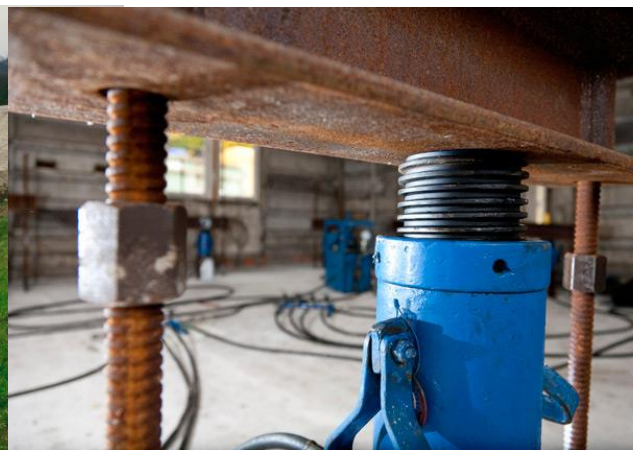
Meegroeien van een woning met een dijkversterking

Door:

M. Havelaar 0831687
J. den Hoedt 0836367

Civiele Techniek

17 juni 2014



Hogeschool Rotterdam

*Instituut voor Gebouwde
Omgeving*

G.J. de Jonghweg 4-6
3015 GG Rotterdam
010 794 4801

Hogeschool@hr.nl
www.hogeschoolrotterdam.nl

Documenttitel : Afstudeerscriptie vijzelbaar bouwen
Verkorte documenttitel : Afstudeerscriptie
Status : Definitief
Versie : versie 1
Datum : 17 juni 2014
Opdrachtnaam : Vijzelbaar Bouwen
Opdrachtgever(s) : Deltares
Waterschap Rivierenland

Afstudeerders:



Mark Havelaar
06 25 30 15 52
Markhavelaar93@hotmail.com



Joost den Hoedt
06 57 76 18 98
Joostdenhoedt11@hotmail.com

Afstudeerdocent:



L.A. van Gelder
l.a.van.gelder@hr.nl

2^e lezer:



P.J. van Rijn
p.j.van.rijn@hr.nl

Bedrijfsbegeleiding:



R. Termaat
Ruud.termaat@deltares.nl



F. van den Berg
f.vanden.berg@wsrl.nl

I. Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van het afstudeeronderzoek 'Vijzelbaar Bouwen'. Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd door M. Havelaar en J. den Hoedt van de Hogeschool Rotterdam, opleiding Civiele Techniek.

Het resultaat van dit onderzoek bevat een advies voor het vijzelbaar bouwen van woningen nabij dijken. Bebouwing wordt hierbij dusdanig gebouwd dat het eenvoudig kan meebewegen met een eventuele dijkversterking. Met het concept vijzelbaar bouwen wordt getracht het bouwen aan de dijk aantrekkelijker te maken.

In het eerste gedeelte van dit afstudeeronderzoek zijn de technische mogelijkheden van het vijzelbaar bouwen onderzocht. Er zijn verschillende oplossingen gegeven voor vijzelbaar bouwen aan de dijk. De technische haalbaarheid van het vijzelbaar bouwen is gecontroleerd met behulp van verschillende geotechnische berekeningen. De haalbaarheid van vijzelbaar bouwen is ook op basis van levensduurkosten gecontroleerd. Op basis van de uitkomsten van dit onderzoek is een advies gegeven met betrekking tot de mogelijkheden voor vijzelbaar bouwen.

Wij willen graag Frans van den Berg (Waterschap Rivierenland) en Ruud Termaat (Deltares) bedanken voor hun begeleiding tijdens dit afstudeeronderzoek. Verder willen wij diverse medewerkers van Waterschap Rivierenland bedanken voor hun input op het gebied van vergunningen, beleid en regelgeving omtrent wonen aan de dijk. Daarnaast willen wij in het bijzonder Peter Damen bedanken voor zijn adviezen, met name op geotechnisch gebied. Ook willen wij Deltares bedanken voor het mogelijk maken en de begeleiding van de technische uitwerking van dit onderzoek in het rekenprogramma PLAXIS.

Ten slotte willen wij onze afstudeerdocent dhr. L.A. van Gelder bedanken voor zijn begeleiding tijdens de afstudeerperiode.

M. Havelaar
J. den Hoedt

Tiel, 17 juni 2014

II. Leeswijzer

Dit rapport is het adviesrapport dat tot stand is gekomen op basis van een onderzoeksmethodiek. Met de onderzoeksmethodiek is geprobeerd om in een gestructureerde volgorde het onderzoek uit te voeren. De onderstaande processen zijn doorlopen, hierbij is ook aangegeven in welke bijlage de rapportages van deze onderdelen te vinden zijn;

- | | |
|---|---------------|
| 1. Uitvoeren van een analyse; | [Bijlage II] |
| 2. Formuleren van oplossingsrichtingen (eisen); | [Bijlage II] |
| 3. Schetsontwerpen opstellen; | [Bijlage III] |
| 4. Toetsen van de schetsontwerpen (trade off matrix); | [Bijlage III] |
| 5. Geotechnische uitwerking van de gekozen oplossing in PLAXIS; | [Bijlage IV] |
| 6. Uitvoeren van een LCC-analyse; | [Bijlage V] |
| 7. Advies formuleren. | |

Dit adviesrapport is opgebouwd conform deze onderzoeksmethodiek. De belangrijkste resultaten van de verschillende subonderdelen zijn hierin opgenomen. Aan de hand van deze resultaten wordt in dit rapport een conclusie geformuleerd en een advies gegeven richting Waterschap Rivierenland.

Het rapport is als volgt opgebouwd;

- | | |
|---------------|--|
| Hoofdstuk 1. | Aanleiding en achtergrond van de afstudeeropdracht. Ook wordt hier de onderzoeksvraag geformuleerd; |
| Hoofdstuk 2. | Overzicht van de belangrijkste resultaten uit de analysefase; |
| Hoofdstuk 3. | Beschrijving van de casuslocatie; |
| Hoofdstuk 4. | Overzicht van de oplossingsrichtingen die geformuleerd zijn aan de hand van de analysefase; |
| Hoofdstuk 5. | Beschrijving van de verschillende schetsontwerpen die gemaakt zijn op basis van de eisen/oplossingsrichtingen uit Hoofdstuk 4. |
| Hoofdstuk 6. | Toetsing van de schetsontwerpen aan verschillende criteria; |
| Hoofdstuk 7. | Belangrijkste resultaten van de geotechnische uitwerking van de gekozen oplossing in het rekenprogramma PLAXIS; |
| Hoofdstuk 8. | Advies voor de omgang met de omgeving rond een vijzelbare woning; |
| Hoofdstuk 9. | Overzicht van de belangrijkste resultaten uit de LCC-analyse; |
| Hoofdstuk 10. | Conclusie en advies richting het Waterschap; |

III. Samenvatting

De rivieren in het beheersgebied van Waterschap Rivierenland zijn onderhevig aan de gevolgen van klimaatverandering. De rivierwaterstanden worden daardoor steeds onvoorspelbaarder. Hierdoor wordt de veiligheid van de dijken minder betrouwbaar. Eens in de 6 jaar wordt de sterkte van de dijken bepaald door Rijkswaterstaat. Aan de hand van deze toetsing bepaalt het Waterschap of de dijken in haar beheersgebied moeten worden versterkt. Een faalmechanisme waarop een dijk kan bezwijken en waarop veel dijken tegenwoordig op afgekeurd worden is het faalmechanisme binnenwaartse macroinstabiliteit (afschuiven van het binnentalud). Om bezwijken van de dijk tegen te gaan wordt er vaak een steunberm aangebracht.

Het aanbrengen van een steunberm wordt soms belemmerd door aanwezige bebouwing langs de dijk. Op dit moment wordt er vaak gekozen om deze bebouwing te slopen en te herbouwen. Om te zorgen dat deze bebouwing niet gesloopt hoeft te worden bij dijkversterkingen kan een vijzelbare woning worden geconstrueerd. In dit afstudeeronderzoek zijn de mogelijkheden om een pand zo te bouwen dat deze in de toekomst eenvoudig op te vijzelen is onderzocht en is er ook gekeken naar de gevolgen van een bermophoging op de funderingsconstructie van de woning. Tevens is bepaald of het concept vijzelbaar bouwen haalbaar is betreffende levensduurkosten ten opzichte van traditionele bouw en bouwen op een terp.

Er zijn veel mogelijkheden om een vijzelbaar danwel verplaatsbaar pand te maken. Het vijzelen blijkt de beste methode aangezien dit zorgt voor een verticale verplaatsing van de woning van het huidige maaiveldniveau naar de nieuwe hoogte van de opgebrachte berm. De woning bevindt zich hierbij volledig boven maaiveld en is flexibel. Met flexibel wordt hier bedoeld dat de woning kan meebewegen met een dijkversterking zodat deze altijd kan worden uitgevoerd.

Er zijn een aantal constructiemogelijkheden voor een vijzelbare woning. Dit betreft vooral constructieve aanpassingen aan de fundering van de woning. De funderingspalen van de woning kunnen worden voorzien van een constructie die na vijzelen kan worden aangepast om de woning weer te funderen op de nieuwe hoogte. Een goede oplossing blijkt te zijn om de funderingspaal van de woning als een stalen buispaal waarin een binnenpaal wordt geplaatst. De funderingspaal wordt zo verlengbaar en kan na vijzelen de woning weer op nieuwe hoogte funderen.

Bij het ophogen van de berm moet er rekening worden gehouden met verplaatsingen in de ondergrond. De zettingen van de berm resulteren in horizontale grondverplaatsingen en daarmee horizontale krachten en negatieve kleeft op de palen. Vanwege de te verwachten momenten als gevolg van de horizontale krachten is het aan te raden om stalen palen toe te passen. Door het toepassen van een scharnierende oplegging wordt een kopmoment in de palen ten gevolge van buiging van de vloer voorkomen. Ook het plaatsen van de woning op grotere afstand van het dijkतालud draagt bij aan het reduceren van de horizontale krachten. Daarnaast moet de vloer van de woning uitgevoerd worden als een sterke en stijve vloer. De vloer kan zo de horizontale krachten die kunnen ontstaan tijdens het vijzelen beter opnemen. Ook zorgt een sterke en buigstijve vloer ervoor dat het mogelijk is om weinig palen toe te passen. Een klein aantal palen geeft een reductie in de kosten voor het vijzelbaar maken van de woning.

Het vijzelbaar bouwen is niet alleen technisch goed mogelijk maar ook kosten efficiënt ten opzichte van traditioneel bouwen. Het bouwen van een traditionele woning op de berm is beleidstechnisch niet gewenst en is qua levensduurkosten ook duurder dan vijzelbaar bouwen. De investering die gemaakt wordt om een vijzelbare woning te maken zorgt ervoor dat de kosten voor het vijzelen ten tijde van een dijkversterking aanzienlijk lager zijn dan het vijzelen van een traditionele woning.

Wanneer er gebouwd wordt op de huidige berm is het te adviseren om eerst de mogelijkheden te onderzoeken voor het plaatsen van de woning op een terp. Dit is kostentechnisch de meest aantrekkelijke oplossing. Wanneer dit echter landschappelijk en/of esthetisch niet mogelijk blijkt te zijn is het aan te raden om te kiezen voor vijzelbaar bouwen. Vijzelbaar bouwen is zowel beleidstechnisch als kostentechnisch efficiënt en is ook technisch haalbaar.

IV. Summary

The rivers in the management area of Water Board Rivierenland are subjected to the consequences of climate change. The water level in the rivers becomes more and more unpredictable. Because of this, the safety of the dikes is less reliable. Once in every six years, the strength of the dikes is tested by Rijkswaterstaat. At the hand of this safety check Water Board Rivierenland decides if the dikes have to be improved. A failure mechanism where a dike could fail on is the failure mechanism 'inwards macro-instability'. This means that the landside slope of the dike is in danger of shifting away. Often a berm is placed behind the dike to improve the stability of the dike.

Placing this berm is sometimes obstructed by houses along the dike. Most times these houses are demolished and rebuild after placing the berm. To prevent demolishing of these houses because of reinforcement of the dike, one could build jackable houses (houses which are designed for easily jacking in the future). In this graduation research the possibilities to build such a jackable house have been investigated. Also the influences of heighten the ground on the foundation(piles) of a house have been calculated and there has been investigated if jackable houses are feasible at the hand of the life cycle costs in comparison with traditional houses and houses build on a terp.

There are many possibilities to build a jackable or a transportable house. Jacking seems to be the best method because this ensures a vertical movement of the house from the surface level to the new ground level of the elevation. The house stays on ground surface level and is flexible. This means that the house could move along with the dike strengthening, so these could always be executed.

There are a few possibilities in the design of a jackable house. These are mainly constructive adjustments to the foundation of the house. The foundation piles of the house can be provided of a construction which can be adapted after the jack operation to found the house on the new height. A good solution seems to be to design the foundation piles of the house as a steel pile where another steel pile is placed in. Because of this, the foundation pile will be extensible so it could found the house on the new height of the berm.

When a berm will be placed, consolidation of the ground has to be taken into account. The displacements in the dike because of the reinforcements results into horizontal movements of the ground, which result in horizontal forces and negative skin friction forces on the piles. Because of the suspected bending moment, caused by the horizontal forces, it's recommended to use steel piles. A bending moment in the top of the pile because of the bending in the floor could be prevented by using a hinged imposition of the pile to the floor. Placing the house on a larger distance from the dike slope also helps to reduce the horizontal forces on the piles. The floor of the house should be designed as a strong and stiff plate. Because of this strength the horizontal forces in the floor, which appears during jacking the house, can be taken up by the floor. A strong and stiff floor also makes it possible to use a small number of piles. This gives a reduction in the costs of a jackable house.

Building a jackable is besides good technical possibility also financial more attractive than a traditional house. Building a traditional house on the berm is according to the policy of Water Board Rivierenland not desirable. Also the life cycle costs are more expensive than a jackable house. The investment to build a jackable house makes the costs to jack the house much less than to jack a traditional house.

When a house is built behind the dike, it is good to investigate the possibilities of building the house on a terp first. In financial view, this is the most attractive solution. However, when this is not possible because of landscape or aesthetic reasons, a jackable house is a good alternative. Building jackable houses is because of policy and financial reasons a good option and is technical attainable.

V. Inhoudsopgave

I. VOORWOORD	3
II. LEESWIJZER	4
III. SAMENVATTING	5
IV. SUMMARY.....	7
V. INHOUDSOPGAVE.....	9
1. INTRODUCTIE	12
1.1 ACHTERGROND	12
1.2 OPDRACHT	13
1.3 ONDERZOEKSVRAAG.....	13
1.4 DOELSTELLING	13
1.5 ONDERZOEKSGRENZEN	14
1.6 ONDERZOEKSMETHODIEK	14
2. ANALYSE	15
2.1 REFERENTIEPROJECTEN	15
2.2 OPLOSSINGSMOGELIJKHEDEN.....	16
2.3 VIJZELTECHNIEKEN	18
2.4 REGELGEVING	20
3. CASUS.....	21
3.1 CASUSPROJECT KINDERDIJK – SCHOONHOVENSEVEER (KIS)	21
3.2 CASUSLOCATIE LEKDIJK 14	21
4. OPLOSSINGSRICHTINGEN	22
4.1 COMPONENTEN	22
4.2 EISEN AAN OPLOSSINGSRICHTINGEN	23
4.3 KEUZE PRINCIPES	24
5. SCHETSONTWERPEN.....	27
5.1 VIJZELEN LANGS DE PALEN	27
5.2 JACK-UP	28
5.2.1 <i>Katrolmechanisme</i>	28
5.2.2 <i>Tandenbaan</i>	28
5.3 TUSSENSTUK.....	29
5.4 TELESKOOPPALEN	29
6. TOETSING	30
6.1 METHODE.....	30
6.2 TRADE-OFF MATRIX	31
6.2.1 <i>Constructie</i>	31
6.2.2 <i>Kosten</i>	31
6.2.3 <i>Hinder en overlast</i>	32
6.3 CONCLUSIE.....	32
7. TECHNISCHE UITWERKING	33

7.1	INVOER	33
7.2	METHODIEK	33
7.2.1	Fasering	33
7.2.2	Optimalisatie	34
7.3	GEOTECHNISCHE RESULTATEN	34
7.4	CONSTRUCTIE RESULTATEN & AANBEVELINGEN	35
7.4.1	Model 1 - Uitgangssituatie	35
7.4.2	Model 2 - Toepassen scharnieroplegging	35
7.4.3	Model 3 - Toepassen scharnieroplegging + meer palen/slappe vloer	36
7.4.4	Model 4 - Toepassen scharnieroplegging + verplaatsen woning	36
7.4.5	Model 5 - Toepassen scharnieroplegging + verplaatsen woning + kleinere paaldiameter	36
7.5	AANBEVELINGEN	37
8.	OMGEVING	38
8.1	KABELS EN LEIDINGEN	38
8.2	WONING	39
8.2.1	Omgeving rondom de woning	39
8.2.2	Uitbreidbaarheid van de woning	39
9.	LIFE CYCLE COST ANALYSE	40
9.1	METHODE	40
9.2	KOSTEN	40
9.2.1	Bouwen op een terp	40
9.2.2	Vijzelbaar bouwen	41
9.2.3	Bouwen + vijzelen	41
9.2.4	Bouwen + sloop en herbouw	41
9.3	RESULTATEN	41
9.3.1	Vergelijking Vijzelbaar bouwen – Bouwen op een terp	41
9.3.2	Vergelijking Vijzelbaar bouwen – Bouwen + vijzelen	42
9.3.3	Vergelijking Vijzelbaar bouwen – Bouwen + sloop & herbouw	42
9.4	CONCLUSIE	43
10.	CONCLUSIE & ADVIES	44
10.1	CONCLUSIE	44
10.1.1	Deelvragen	44
10.1.2	Hoofdvraag	47
10.2	ADVIES WATERSCHAP RIVIERENLAND	48
VI.	COMPETENTIE VERANTWOORDING	49
VII.	BIBLIOGRAFIE	51
VIII.	BEGRIPPENLIJST	52

Bijlagenlijst (zie bijlagenbundel)

I. Plan van Aanpak
II. Analyserapport a. Interview ingenieursbureau Concretio B.V. b. Interview P.van 't Wout Vijzel- en Funderingstechnieken B.V. c. Opdeling vakken KIS naar faalmechanismen d. Maatregelen per dijkvak KIS e. Slooplijst KIS (d.d. 20 – 01- 2014) f. Dwarsprofiel Lekdijk 14 (bestaande situatie) g. Dwarsprofiel Lekdijk 14 (ontwerp) h. Programma van eisen vijzelbaar herbouwen KIS i. Geotechnisch lengteprofiel t.p.v. Lekdijk 14 j. Stijghoogteberekening (huidige situatie Lekdijk 14) k. Opbarstveiligheid (bestaande situatie Lekdijk 14) l. Opbarstveiligheid (ontwerp Lekdijk 14)
III. Schets-en toetsrapport a. Ontwerp + beschrijving Vijzelen Langs de palen b. Ontwerp + beschrijving Jack-Up Katrol c. Ontwerp + beschrijving Jack-Up Tandenbaan d. Ontwerp + beschrijving Tussenstuk e. Ontwerp + beschrijving Telescooppalen f. Trade-Off Matrix
IV. Berekeningsrapport Plaxis a. Palenplan b. Handberekening negatieve kleef
V. LCC analyserapport a. Raming Vijzelen b. Raming Concretio B.V. c. LCC analyse

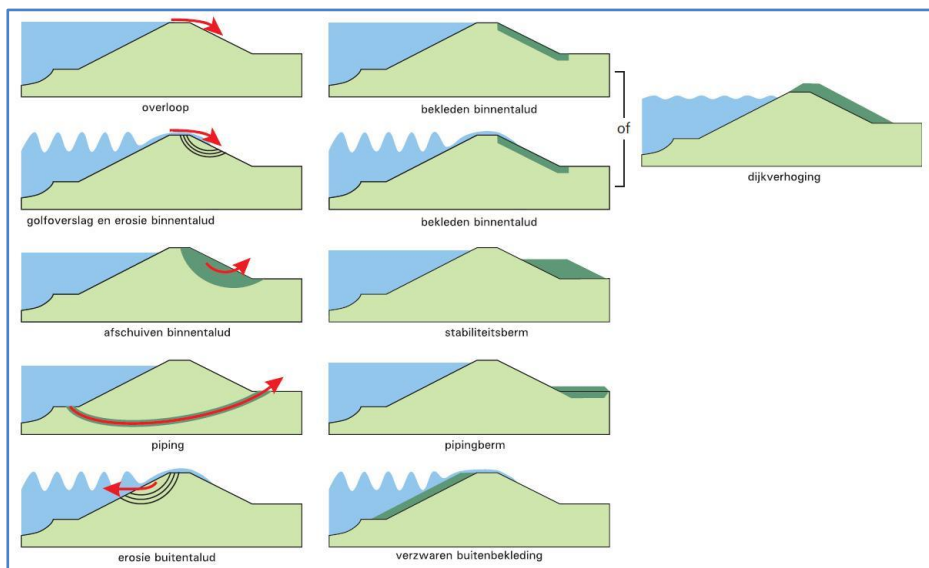
1. Introductie

In dit hoofdstuk wordt een korte introductie gegeven op het afstudeeronderzoek. De achtergrond en de opdracht worden beschreven, waarna er een onderzoeksvraag wordt geformuleerd. Ook worden de doelstelling, de afbakening en de onderzoeksmethodiek gegeven. Een uitgebreide beschrijving van deze onderdelen inclusief een gedetailleerde planning is te vinden in het plan van aanpak (zie bijlage I). Mogelijke wijzigingen in het proces/resultaten ten opzichte van het plan van aanpak zijn gemaakt in overleg met de opdrachtgevers.

1.1 Achtergrond

De dijken in het beheersgebied van Waterschap Rivierenland zijn onderhevig aan de gevolgen van klimaatverandering. De rivieren die door het beheersgebied stromen, worden steeds onvoorspelbaarder in hun afvoer en dus ook de hoogte van de waterstand. Rijkswaterstaat leidt iedere 6 jaar af hoe hoog het water van de rivieren kan komen hierbij wordt onder andere rekening gehouden met de invloed vanuit de zee (stijging van de zeespiegel). Het Waterschap rekent aan de hand van deze gegevens uit hoe sterk de dijken binnen het beheersgebied zijn. Wanneer een dijk onvoldoende sterk blijkt te zijn, zal deze moeten worden versterkt.

Een dijk kan falen op hoogte, golfoverslag, binnenwaartse- en buitenwaartse macro instabiliteit, micro instabiliteit en piping (zie figuur 1). In dit afstudeeronderzoek wordt er nader gekeken naar de maatregelen die moeten worden getroffen om het faalmechanisme binnenwaartse macro instabiliteit (afschuiven van het binnentalud) tegen te gaan. Om dit faalmechanisme tegen te gaan wordt er vaak een stabiliteitsberm (steunberm) aangebracht. Deze berm zorgt voor tegendruk (m.b.v. de gronddruk) zodat het afschuiven van de dijk wordt tegengegaan.



Figuur 1 Faalmechanismen die op kunnen treden aan een dijk inclusief maatregelen. (1)

Het binnendijks aanbrengen van een steunberm neemt veel ruimte in beslag. Vaak is er bebouwing aanwezig aan de binnenzijde van de dijk, op de plaats waar de stabiliteitsberm moet worden aangebracht. De aanbreng van een steunberm wordt belemmerd door deze bebouwing, ook ondervindt de aanwezige bebouwing hinder van de steunberm. Een oplossing voor dit probleem van ruimtegebrek is het zo construeren van een pand dat deze eenvoudig kan meegroeien met de dijk(versterking).

Gebouwen worden dan zo gebouwd dat deze bij een (toekomstige) dijkversterking eenvoudig kunnen worden verplaatst. Een optie voor het eenvoudig kunnen verplaatsen van de woning is het vijzelbaar maken van de woning. De woning wordt dan zo geconstrueerd dat er voorzieningen aanwezig zijn om de woning op te kunnen vijzelen wanneer dat nodig is. Dit afstudeeronderzoek richt zich op de mogelijkheden die er zijn om een woning vijzelbaar te construeren.

1.2 Opdracht

De opdracht is uitgegeven door Waterschap Rivierenland en Deltares. De opdracht bestaat uit een aantal deelvragen;

- Wat is een oplossing om een nieuw te bouwen pand zodanig aan te passen dat deze eenvoudig kan worden opgevijzeld/verplaatst?
- Hoe kan de omgeving rond het pand het best worden aangepast?
- Wat is de invloed van de grondophoging (steunberm) op de funderingsconstructie van het pand?
- Wat zijn de meerkosten van de oplossing en is de oplossing efficiënt betreft meerjarige kosten? Binnen welke planperiode weegt de oplossing op tegen het volledig slopen en herbouwen van het pand?

1.3 Onderzoeksvraag

De opdracht is vertaald naar een werkbare onderzoeksvraag. In de onderzoeksvraag zijn alle onderdelen verwerkt die door de opdrachtgevers worden gevraagd. In de conclusie van dit onderzoek zal er een antwoord worden gegeven op deze onderzoeksvraag (zie Hoofdstuk 10). De onderzoeksvraag luidt als volgt;

Hoe kan er, met inachtneming dat er wordt voldaan aan de technische randvoorwaarden en dat de methode qua kosten en baten opweegt tegen het slopen en herbouwen van het gebouw, vijzelbaar gebouwd worden op de (toekomstige) steunberm van de dijk, zodanig dat de fundering voldoende sterk en stabiel blijft, wanneer er een steunberm(verhoging) wordt toegepast voor het versterken van de dijk?

1.4 Doelstelling

Het doel van dit afstudeeronderzoek is het vinden van een oplossing voor het vijzelbaar maken van een pand die;

- Efficiënt is met betrekking tot meerjarige kosten, de oplossing weegt hierbij op tegen bijvoorbeeld het volledig slopen en herbouwen van een pand;
- De krachten en de vervormingen die optreden ten gevolge van de grondophoging (steunberm) op kan vangen;
- Overtuigend is om de meerwaarde van vijzelbaar bouwen mee te kunnen benadrukken;

Ook wordt er een advies gegeven richting het Waterschap waarin duidelijk gemaakt wordt;

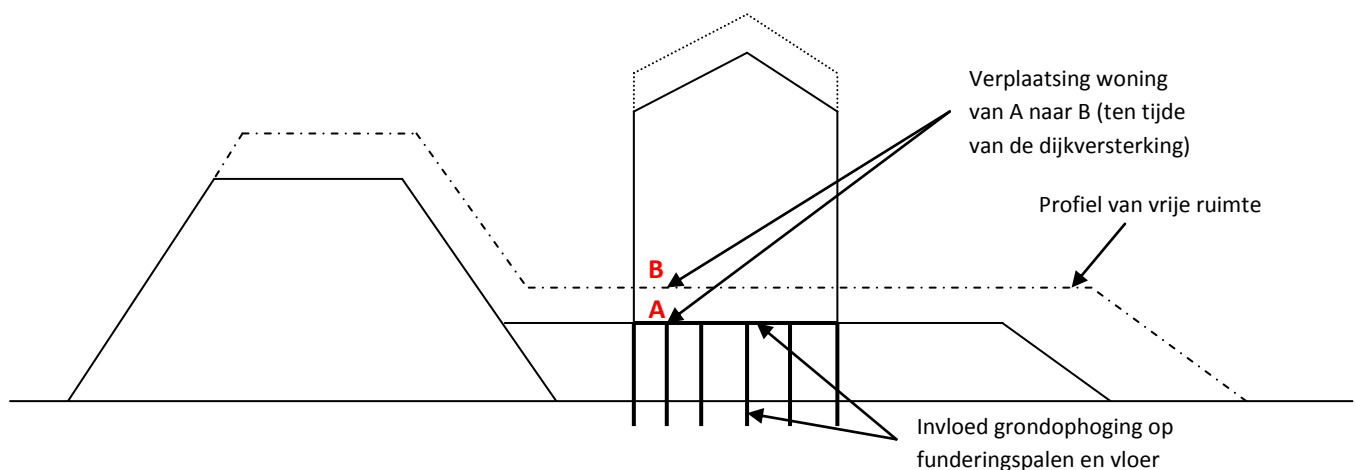
- Wat de meest efficiënte methode (qua meerjarige kosten) is om een pand vijzelbaar te maken;
- Wat de diverse mogelijkheden zijn om een pand niet te hoeven slopen ten tijde van een dijkversterking;
- Wat de invloed en de plaats van de krachten/vervormingen op/in de fundering is die worden veroorzaakt door het aanbrengen van een hoeveelheid grond onder/naast de woning;
- Wat de mogelijkheden zijn om de omgeving rond een vijzelbaar pand het best aan te passen zodat deze ook kan meegroeien met het pand.

1.5 Onderzoeksgrenzen

Binnen dit afstudeeronderzoek wordt er enkel gekeken naar nieuw te realiseren bebouwing. Deze bebouwing wordt gebouwd op de huidige steunberm van de dijk. De woning zal ten tijde van een dijkversterking moeten worden verplaatst naar de nieuw te realiseren berm ter hoogte van het zogeheten profiel van vrije ruimte (zie begrippenlijst). De dijkversterking zal waarschijnlijk na een periode van 50 jaar worden aangebracht.

De berekeningen die worden uitgevoerd richten zich op de fundering van het gebouw. Onder fundering wordt de vloer inclusief de palen van de woning verstaan. Als uitgangspunt voor de berekeningen wordt een casuslocatie genomen binnen het dijkversterkingsproject Kinderdijk-Schoonhovenseveer (zie hoofdstuk 3). De bovenbouw van de woning wordt als indicatief genomen, er wordt ter simulatie van de woning een belasting op de fundering aangenomen die wordt veroorzaakt door deze bovenbouw.

In onderstaande figuur is de scope van dit onderzoek te zien;



Figuur 2 Scope afstudeeronderzoek 'vijzelbaar bouwen'

1.6 Onderzoeksmethodiek

Voor de uitwerking van dit onderzoek wordt de 'trechter' methodiek gehanteerd, dit houdt in dat er vanuit een zo breed mogelijk perspectief naar een oplossing wordt toegewerkt. De volgende stappen worden doorlopen;

- Analyseren;
- Oplossingsrichtingen formuleren (conclusie van de analyse);
- Schetsontwerpen opstellen;
- Toetsen (Trade-Off matrix);
- Geotechnische uitwerking van de gekozen oplossing (m.b.v. Plaxis);
- LCC analyse uitvoeren;
- Advies formuleren.

Tijdens de analyse wordt het probleem vanuit een zo breed mogelijk perspectief bekeken. Van hieruit worden er een aantal oplossingen gekozen en vertaald naar een schetsontwerp. De schetsontwerpen worden getoetst door middel van een trade-off matrix. De gekozen oplossing wordt technisch uitgewerkt. Uiteindelijk wordt er een LCC analyse uitgevoerd waarin de gekozen oplossing op basis van levensduurkosten wordt afgewogen tegen bijvoorbeeld het volledig slopen en herbouwen van het pand.

2. Analyse

In de eerste fase van dit onderzoek is een analyse uitgevoerd. De analyse heeft als doel zoveel mogelijk informatie te verzamelen die kan helpen bij het vinden van een antwoord op de onderzoeksvraag. De gegevens die gevonden zijn in de analyse vormen het uitgangspunt voor de geotechnische berekeningen en de LCC-analyse. De volledige analyserapportage is te vinden in bijlage II.

2.1 Referentieprojecten

Als basis voor de analyse zijn een aantal referentieprojecten bekeken. De volgende projecten zijn bekeken;

- **Vijzelbare dijkwoningen aan de Visschersbuurt in Papendrecht [2002] (figuur 3);**
Dit betreft een aantal dijkwoningen aan de Visschersbuurt in Papendrecht. De woningen zijn zo gebouwd dat deze eenvoudig opvijzelbaar zijn. Er wordt gebruik gemaakt van een 'tussenstuk' om de palen te verlengen na het vijzelen van de woning. De volgende aspecten die gebruikt zijn bij deze woning zijn meegenomen binnen dit afstudeeronderzoek;
 - Zorgen voor toegankelijkheid van de vijzelconstructie;
 - Ruimte vrijlaten in de constructie voor het plaatsen van een vijzel;
 - Alle onderdelen van de woning funderen op een enkele stijve funderingsplaat;
 - Toepassen van stalen funderingspalen;
 - Het plaatsen van een tussenstuk na vijzelen van de woning.
- **Vijzelen en verplaatsing van een woonboerderij in Lent [2012] (figuur 4);**
De woonboerderij in Lent is '*langs de palen*' gevijzeld en vervolgens via SPMT's (zie begrippenlijst) verplaatst. In dit project is een traditionele vijzelmethodiek gebruikt. De volgende aspecten die gebruikt zijn bij dit project zijn meegenomen binnen dit afstudeeronderzoek;
 - De techniek van vijzelen langs de palen om de woning te vijzelen;
 - De mogelijkheid tot (het tijdelijk) verplaatsen van een woning ten behoeve van het uitvoeren van een dijkversterking.
- **Vijzelen van molen 'de Roos' in Delft [2012];**
Molen 'de Roos' in Delft is 1,00m verplaatst om de aanleg van een spoortunnel onder de molen mogelijk te maken. In dit project is de traditionele vijzelmethodiek '*vijzelen langs de palen*' toegepast (idem boerderij in Lent). Deze methodiek is meegenomen als mogelijkheid om een woning op te kunnen vijzelen.



Figuur 3 Dijkwoningen Papendrecht (2)



Figuur 4 Verplaatsing boerderij Lent (3)

➤ **Te vijzelen woning Lekdijk 13 (Project KIS) [Planvorming];**

Binnen het dijkversterkingsproject Kinderdijk-Schoonhovenseveer (zie hoofdstuk 3) wordt waarschijnlijk de bestaande woning Lekdijk 13 gevijzeld. De plannen die hiervoor zijn opgesteld zijn gebruikt als referentie. De volgende informatie uit deze plannen is meegenomen binnen dit afstudeeronderzoek;

- De nieuwe fundering bevindt zich aan de buitenzijden van de woning, waardoor de palen beter toegankelijk zijn en er niet onder de woning gewerkt hoeft te worden als er moet worden gevijzeld;
- De verschillende stappen in de uitvoering van de vijzelwerkzaamheden (werkvolgorde).

➤ **Vijzelbare herbouw Lekdijk 277 (Project KIS) [Planvorming].**

Ook de woning Lekdijk 277 bevindt zich binnen het dijkversterkingsproject KIS. Deze woning wordt waarschijnlijk geamoveerd en vijzelbaar herbouwd. De plannen die hiervoor bekend zijn, zijn gebruikt als referentie. In de plannen wordt een idee voor de bovenbouw van de woning geschetst. Dit idee is gebruikt om te weten te komen hoe een eventuele bovenbouw van de woning eruit zou kunnen komen te zien.

2.2 Oplossingsmogelijkheden

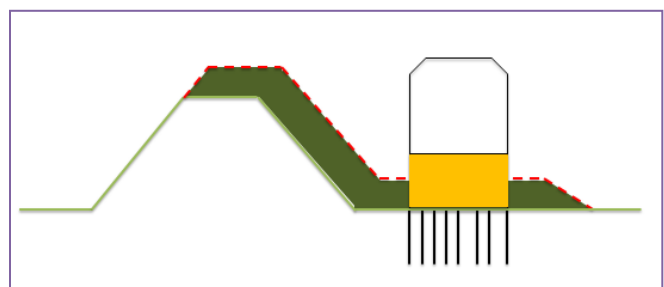
Naast het opvijzelbaar maken van de woning zijn er nog een aantal andere mogelijkheden om een woning zo te bouwen dat deze onafhankelijk is van eventuele dijkversterkingen. Deze mogelijkheden zijn verworven door het houden van een brainstormsessie. De andere oplossingsmogelijkheden worden later, naast diverse vijzelmogelijkheden, getoetst aan een aantal eisen (zie Hoofdstuk 4). Hieruit zal blijken of een van deze mogelijkheden gebruikt kan worden als basis voor een oplossing voor het vijzelbaar bouwen. Een aantal oplossingsmogelijkheden worden in een later stadium ook gebruikt in de LCC-analyse. De gevonden oplossing voor het vijzelbaar maken van het pand wordt dan afgewogen tegen deze oplossingsmogelijkheden.

De oplossingsmogelijkheden onderscheiden zich in een drietal principes;

1. De woonfunctie bevindt zich volledig gescheiden van het profiel van vrije ruimte;
2. De woning kan in zijn geheel worden verplaatst;
3. De woning kan worden verhoogd.

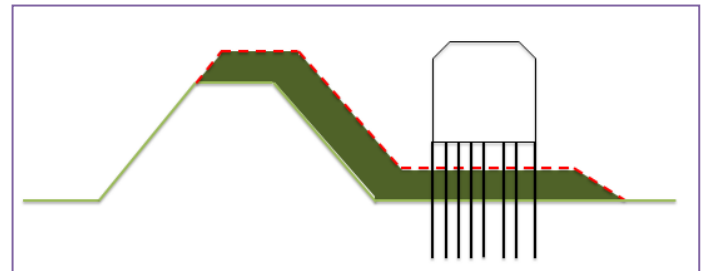
Onderstaand staan de verschillende oplossingsmogelijkheden gegeven. Per oplossing staat aangegeven wat de hoofdkenmerken zijn van de oplossing. Ook staat aangegeven op welk van de bovenstaande principes de oplossing berust.

A	Woning met geïntegreerde kelder.	Principe: 1
➤	Integreren begane grond van de woning in de stabiliteitsberm.	
➤	Begane grond vervangen door bijv. kelder of bergruimte (gele gedeelte in figuur 5) wanneer er een dijkversterking wordt toegepast.	



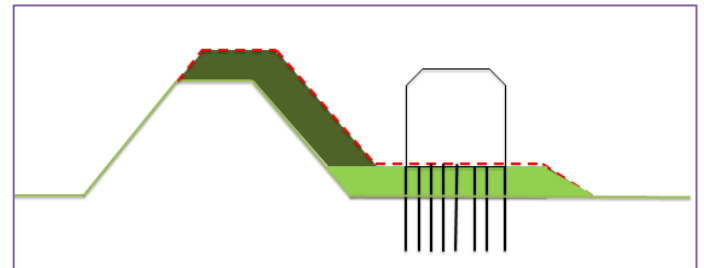
Figuur 5 Principe A

B	Woning verhoogd bouwen op palen	Principe: 1
➤	Woning ver boven de huidige stabiliteitsberm & het PVVR door de woning op hoge palen boven maaiveld te plaatsen.	



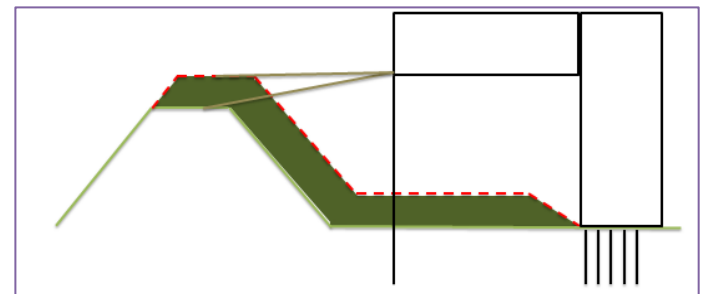
Figuur 6 Principe B

C	Bouwen op een terp	Principe: 1
➤	Woning op de hoogte van de hoeveelheid grond bouwen die conform het profiel van vrije ruimte over 50 jaar zou moeten worden opgebracht.	



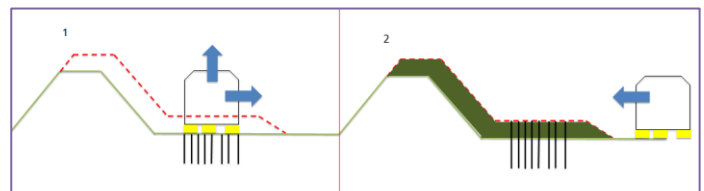
Figuur 7 Principe C

D	Woonconstructie buiten PVVR	Principe: 1
➤	Ervaring van wonen aan de dijk blijft gehandhaafd	
➤	Bebouwing bevindt zich volledig buiten het profiel van vrije ruimte, ook de funderingspalen doorkruisen de berm niet (enkel de funderingspaal aan de linkerzijde)	



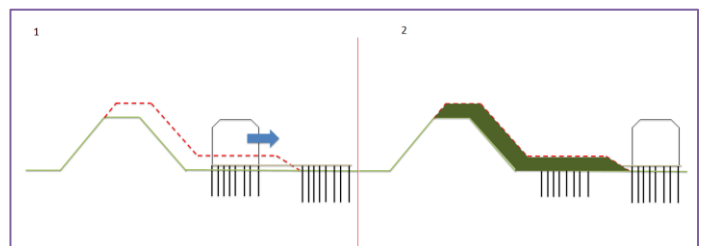
Figuur 8 Principe D

E	Vijzelen + Verplaatsen woning	Principe: 2
➤	De woning wordt eerst gevijzeld en vervolgens verplaatst.	
➤	De berm kan worden aangebracht en de woning kan, na verlenging van de palen, weer worden teruggeplaatst.	



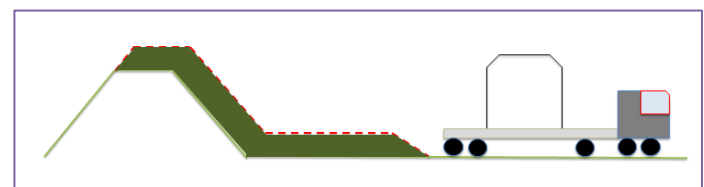
Figuur 9 Principe E

F	Woning op rails	Principe: 2
➤	Tussen de nieuwe en de oude fundering wordt rails geplaatst. Via deze rails wordt de woning verplaatst. Na verplaatsing kan de berm worden aangebracht.	



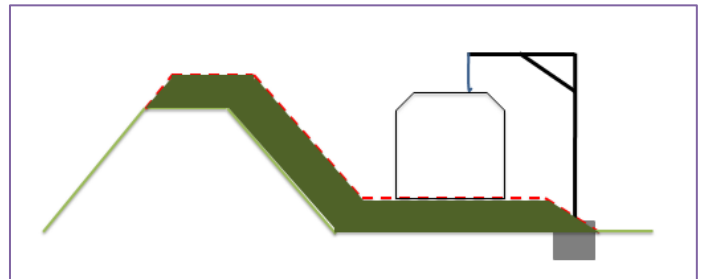
Figuur 10 Principe F

G	Demontabele woningen	Principe: 2
➤	De woningen zijn licht en eenvoudig verplaatsbaar. De woningen kunnen per vrachtwagen worden getransporteerd. Na verplaatsing kan de dijkversterking worden uitgevoerd.	



Figuur 11 Principe G

H	Hangende woning	Principe: 3
➤	De hijsconstructie neemt de belasting van de woning over.	
➤	De woning kan bij een dijkversterking eenvoudig worden opgetild door de hijsconstructie.	



Figuur 12 Principe H

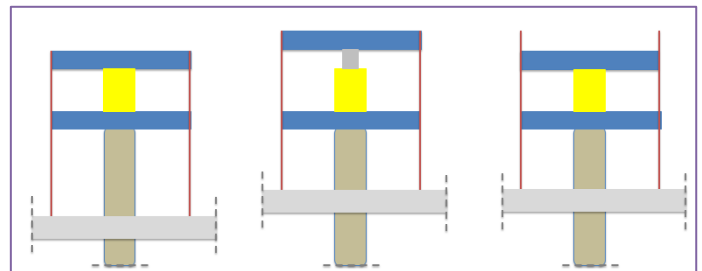
2.3 Vijzeltechnieken

Het derde principe uit §2.2 'Woning kan worden verhoogd' omvat ook het vijzelen van de woning. Het vijzelen kent een aantal methoden. De methodieken kunnen worden opgedeeld in de volgende categorieën;

1. Traditionele vijzelmethodieken;
2. Innovatieve (creatieve) vijzelmethodieken die gevormd zijn een combinatie van bestaande technieken en door eigen inzicht.

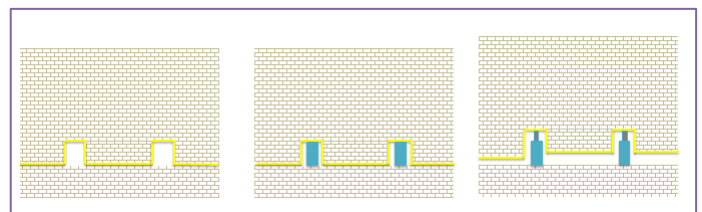
Onderstaand staan de verschillende vijzelmethodieken beschreven. Er is daarbij aangegeven (rechtsboven in de tabel) of het om een traditionele vijzelmethode gaat of dat het een vijzelmethodiek is die naar eigen inzicht/creativiteit tot stand is gekomen. Per methodiek staat aangegeven wat de uitvoeringsstappen zijn.

I	Vijzelen langs de palen	Methode: 1
➤	De trekstangen worden in de vloer geplaatst en verbonden met de onderste en de bovenste dwarsbalk.	
➤	De vijzel zet uit, waardoor de trekstangen aan de vloer gaan trekken. De vloer komt omhoog.	
➤	De onderste dwarsbalk wordt vastgezet en het proces kan weer worden herhaald totdat de gewenste hoogte is bereikt.	



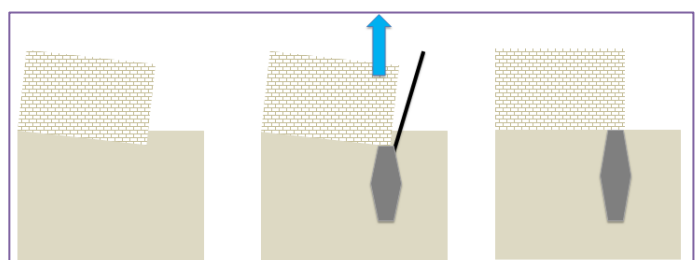
Figuur 13 Principe I

J	Vijzelen uit de muur	Methode: 1
➤	In de muur worden uitsparingen aangebracht en een stalen hulpconstructie.	
➤	In deze uitsparingen worden vijzels geplaatst. De woning wordt via deze vijzels omhoog gevijzeld.	
➤	Na vijzelen wordt de ontstane ruimte weer dichtgemetseld.	



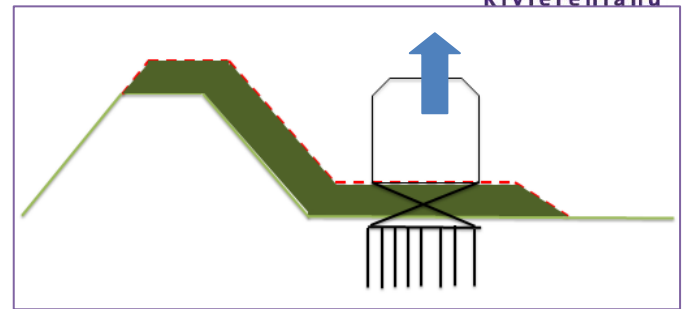
Figuur 14 Principe J

K	Injecteren	Methode: 1
➤	Er wordt onder de funderingsvoet een gat geboord tot onder de fundering.	
➤	Er wordt een spuitlans in dit gat gestoken. Via de spuitlans wordt er een expansiehars geïnjecteerd.	
➤	Het expansiehars zet uit en de woning kan plaatselijk omhoog worden gebracht.	



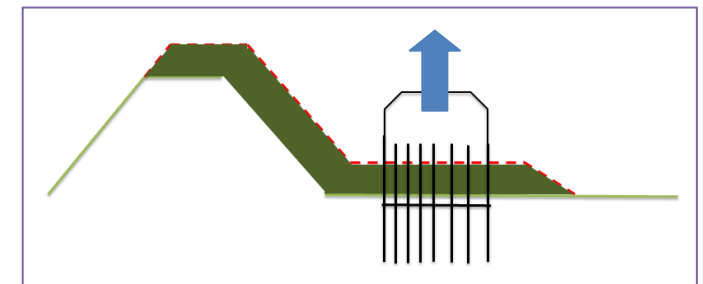
Figuur 15 Principe K

L	Hijsplatform	Methode: 2
- Tussen de vloer en de palen bevindt zich een hefmechanisme. - Via deze schoorconstructie (dat lijkt op het type constructie van bijv. een hoogwerker) kan de woning worden gevijzeld. - De dijkversterking kan worden uitgevoerd.		



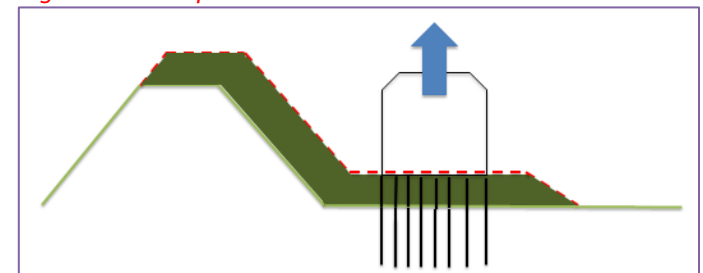
Figuur 16 Principe L

M	Jack-Up	Methode: 2
- De funderingspalen van de woning steken door de vloer. Dit kan aan de buitenzijde of de binnenzijde van de woning. - De jack-up is een methodiek die voortkomt uit de offshore industrie (Jack-Up Barge). - De woning kan verticaal over de palen worden verplaatst door gebruik te maken van bijvoorbeeld een katrol of tandwielmechanisme.		



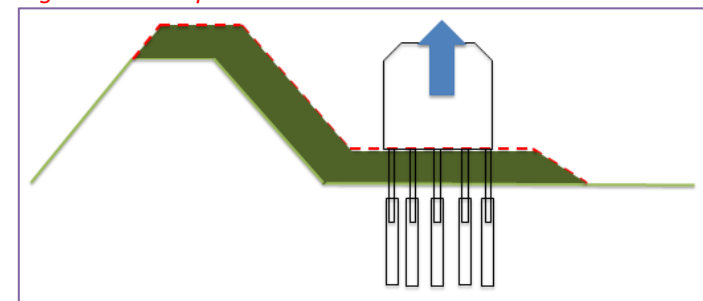
Figuur 17 Principe M

N	Tussenstuk	Methode: 2
- De woning wordt gevijzeld. - Na vijzelen wordt er een tussenstuk geplaatst om de palen te verlengen. - De dijkversterking kan worden uitgevoerd.		



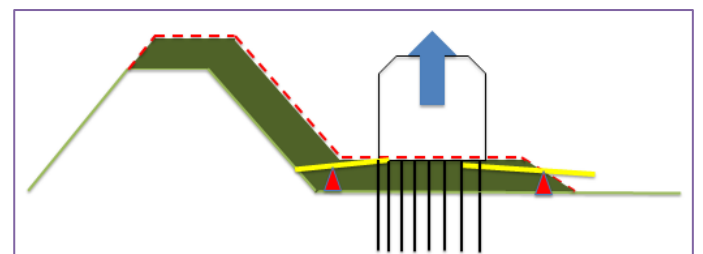
Figuur 18 Principe N

O	Telescoopspalen	Methode: 2
- De telescoopspalen bestaan uit een binnenpaal en een buitenpaal die afzonderlijk van elkaar kunnen bewegen. - Wanneer de woning gevijzeld wordt beweegt de binnenpaal mee met de woning. - Na vijzelen kan de binnenpaal weer aan de buitenpaal worden bevestigd. - De dijkversterking kan worden uitgevoerd.		



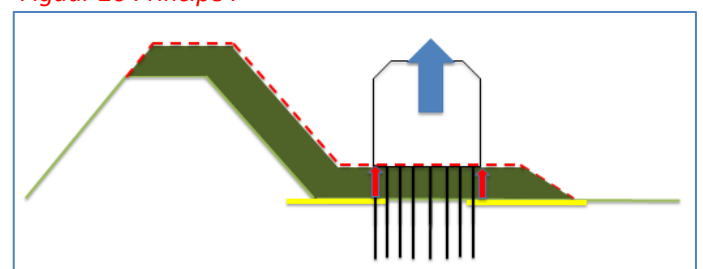
Figuur 19 Principe O

P	Hefboom	Methode: 2
- Aan de buitenste onderzijden van de woning worden steunpunten aangebracht met daarop een hefboom. - Wanneer er aan één zijde van de hefboom een belasting wordt aangebracht wordt de woning door hefwerking verticaal verplaatst. - Na verplaatsing kan de dijkversterking worden uitgevoerd, wel moeten de funderingspalen worden verlengd.		



Figuur 20 Principe P

Q	Vijzelen vanaf een externe vloer	Methode: 2
- Rondom de woning wordt een (tijdelijke) vloer aangebracht waar vanaf gevijzeld kan worden. - Voordeel van deze methode is dat men gemakkelijk vijzels kan plaatsen. - Na vijzelen moeten de funderingspalen van de woning worden verlengd. De vloer kan worden verwijderd en de steunberm kan worden aangebracht.		



Figuur 21 Principe Q

2.4 Regelgeving

De regelgeving betreffende bouwen aan de dijk is opgenomen in de Keur Waterschap Rivierenland. Deze Keur bestaat uit beleidsregels en algemene regels. Over het algemeen vertellen de regels in de Keur wat niet mag. Het beleid van het Waterschap is een zogenaamd nee, tenzij beleid. Er mag bijvoorbeeld een vergunning worden verleend als er aangetoond wordt dat er zwaarwegende belangen zijn dat een bepaald activiteit wel benodigd is.

In de Keur staan een aantal regels gegeven die tegenstrijdig zijn met het concept vijzelbaar bouwen. Voorbeelden van deze regels zijn;

- Er moet een duidelijke scheiding aanwezig zijn tussen de woonfunctie en de waterkerende functie. Deze functies mogen niet geïntegreerd worden;
- Bij het plaatsen van bebouwing aan de dijk moet rekening worden gehouden met het profiel van vrije ruimte. Bebouwing binnen het profiel van vrije ruimte is *in principe* niet toegestaan.

De regels die tegenstrijdig zijn vormen geen belemmering voor het vinden van een oplossing voor het vijzelbaar bouwen. Bij het vinden van een oplossing is gedacht vanuit een zo breed mogelijk perspectief waarbij alleen de technische haalbaarheid en de kosten gebruikt worden om een keuze te maken voor de beste oplossing.

Bij het zoeken naar een oplossing is wel gedacht aan een aantal speerpunten in het kader van het beleid. Deze speerpunten vormen de basis voor het kiezen van een oplossing. Deze speerpunten zijn;

- De waterkerende functie van de dijk moet altijd in stand worden gehouden;
- Het doelmatig beheer en onderhoud dat uitgevoerd wordt door Waterschap Rivierenland moet zo min mogelijk worden belemmerd;
- Het moet altijd mogelijk zijn om de dijk te kunnen versterken.

Bovenstaande onderwerpen zullen leiden tot het aanbrengen van flexibiliteit in de woning. Het vijzelbaar maken van de woning kan de woning flexibel maken.

3. Casus

Ten behoeve van de uitwerking van dit afstudeeronderzoek is een casuslocatie gekozen. De casuslocatie betreft een woning binnen het dijkversterkingsproject Kinderdijk – Schoonhovenseveer.

3.1 Casusproject Kinderdijk – Schoonhovenseveer (KIS)

Het dijkversterkingsproject Kinderdijk-Schoonhovenseveer (KIS) betreft een versterking van het dijktracé tussen Kinderdijk en Schoonhovenseveer. De dijk wordt versterkt omdat, uit een toetsing in 2006, is gebleken dat de dijk op een aantal plaatsen faalt op hoogte, macro instabiliteit van zowel het binnen- als het buitentalud en piping. Om deze faalmechanismen tegen te gaan wordt de dijk versterkt door bijvoorbeeld harde constructies (dam- en diepwanden) en een steunberm aan te brengen en de dijk plaatselijk te verhogen. Waar mogelijk wordt de dijkversterking uit oogpunt van uitbreidbaarheid en kosten in grond uitgevoerd.

Langs het dijktracé staat veel bebouwing, in totaal ongeveer 450 panden. Deze panden bestaan uit 350 woningen en 100 bedrijfspanden. De bebouwing langs de dijk wordt vooral gekenmerkt door veel lintbebouwing. De bebouwing vormt op een aantal plaatsen een belemmering voor het aanbrengen van de steunberm. Een groot deel van deze woningen wordt geamoveerd en vijzelbaar teruggebouwd, ook worden er panden gevizeld.

Dit dijkversterkingsproject is gekozen als casusproject omdat;

- Dit project zeer actueel is, het project is niet lang geleden aanbesteed en is dit jaar (2014) in uitvoering gegaan;
- Er op een groot deel van het traject een steunberm wordt aangebracht;
- Er binnen dit project veel bebouwing aanwezig is langs de dijk, die de aanbreng van een steunberm belemmert;
- Er binnen dit project een aantal van de woningen, na amoveren, vijzelbaar worden herbouwd.

3.2 Casuslocatie Lekdijk 14

Binnen het casusproject KIS is een woning gekozen die gebruikt wordt als casuslocatie. De casuslocatie wordt gebruikt als uitgangspunt voor de berekeningen (zie hfstk. 7). De casuslocatie die is gekozen, is Lekdijk 14 in Nieuw-Lekkerland. Deze locatie is gekozen omdat;

- Er op deze locatie een steunberm wordt aangebracht t.b.v. het versterken van de dijk;
- De huidige bebouwing wordt gesloopt en evt. vijzelbaar op de nieuwe berm teruggeplaatst wordt;
- De locatie aan een schaaldijk ligt, waardoor er een groter risico op piping en opdrijven is (extreme situatie);
- Er over 50 jaar een grote hoeveelheid grond moet worden aangebracht (versterking van de dijk conform het profiel van vrije ruimte), het gebouw moet dan over een relatief grote afstand omhoog verplaatst worden.

Het dwarsprofiel ter hoogte van Lekdijk 14 bestaat uit een dijklichaam direct aan de rivier. De nieuwe woning wordt geplaatst op de steunberm die aangebracht wordt binnen het dijkversterkingsproject. Deze berm heeft een lengte van 20m ten opzichte van het huidige dijklichaam en een gemiddelde hoogte van 1m ten opzichte van het huidige maaiveld. Het profiel van vrije ruimte geeft een verlenging van deze steunberm aan met ongeveer 15m en een bermverhoging met gemiddeld 0,20m. Zie het analyserapport in bijlage II voor dit dwarsprofiel.

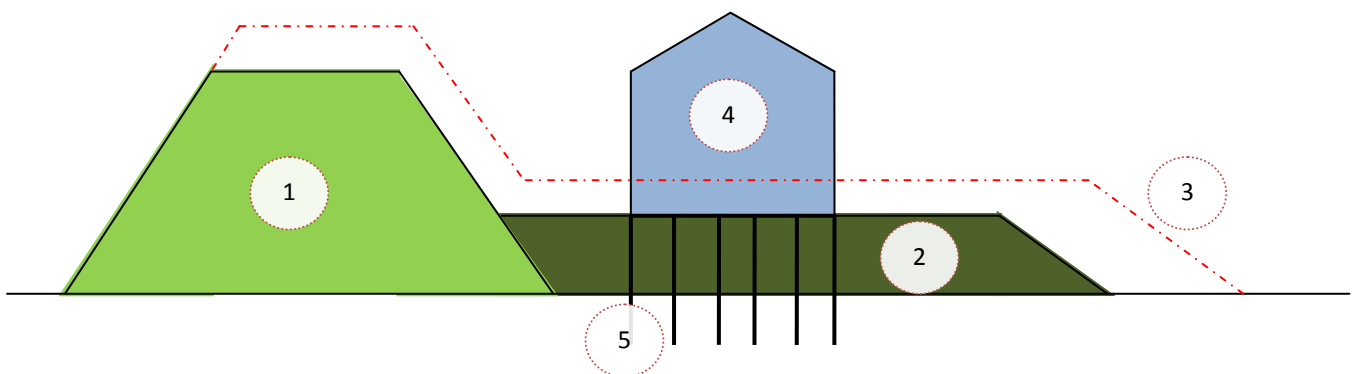
4. Oplossingsrichtingen

Na uitvoering van de analyse zijn een aantal oplossingsrichtingen geformuleerd. De oplossingsrichtingen vormen de basis voor de schetsontwerpen. De verschillende oplossingen die gevonden zijn in de analyse (Hfstk. 2) worden weerlegd aan deze oplossingsrichtingen. Uit deze weerlegging volgen een aantal oplossingen die de gewenste oplossing het dichtst naderen. Op basis van deze oplossingen zijn, door bijvoorbeeld een combinatie te maken van verschillende oplossingen, een aantal schetsontwerpen opgesteld (zie Hfstk. 5).

4.1 Componenten

De scope van dit onderzoek is op te delen in een aantal componenten (zie figuur 22). De componenten zijn;

1. Dijklichaam;
2. Stabiliteitsberm;
3. Profiel van vrije ruimte;
4. Bebouwing;
5. Fundering.



Figuur 22 Scope van dit onderzoek opgedeeld in componenten

De verschillende componenten hebben elk hun eigen functie. Deze functies kunnen conflicteren met elkaar, uit de conflicten blijkt dat de steunberm en het profiel van vrije ruimte conflicteren met de bebouwing (incl. fundering) die wordt aangebracht. Om deze reden zijn de volgende aspecten meegenomen in het zoeken naar oplossingsrichtingen;

- De woning moet zich 'gescheiden' kunnen gedragen van de steunberm;
- De steunberm moet geen hinder ondervinden van de woning.

Deze aspecten kunnen worden aangevuld met de aspecten die volgen uit het beleid van Waterschap Rivierenland (zie §2.4.). Deze aspecten zijn;

- De waterkerende functie van de dijk moet in stand worden gehouden;
- Het doelmatig beheer en onderhoud moet kunnen worden uitgevoerd;
- Het moet altijd mogelijk zijn om de dijk te kunnen versterken.

4.2 Eisen aan oplossingsrichtingen

De eisen aan de oplossingsrichtingen zijn gebaseerd op de aspecten uit §4.1. Naast deze aspecten zijn er ook andere aspecten meegenomen uit de analyse, dit betreft vooral technische aspecten (zoals het gebruik van stalen palen). De eisen geven een aantal kenmerken waaraan de gewenste oplossing minimaal moet voldoen. De oplossingsrichtingen zijn weergegeven in onderstaand schema (tabel 1)

Eisnummer	Eis
1	Dijklichaam
1.1	➤ Het dijklichaam (de waterkering) moet ongehinderd blijven, het mag niet worden aangepast t.b.v. de constructie.
2	Stabiliteitsberm
2.1	➤ De bebouwing dient op de huidige steunberm geplaatst te worden. De fundering van de woning mag deze steunberm wel doorkruisen.
2.2	➤ De opbouw van de huidige berm moet in stand gehouden worden (berm mag enkel worden aangepast voor realisatie van de bebouwing/constructie)
3	Profiel van vrije ruimte
3.1	➤ De bebouwing moet, na het aanbrengen van de grond conform het profiel van vrije ruimte, op deze grondlaag worden geplaatst. De paalfundering van de woning mag het profiel van vrije ruimte wel doorkruisen.
3.2	➤ Het aanbrengen van de grond conform het profiel van vrije ruimte moet altijd mogelijk blijven. De constructie mag het aanbrengen van de grond niet onmogelijk maken.
4	Bebouwing
4.1	➤ De bebouwing dient zich als één geheel te gedragen, dit betekent dat de bebouwing geplaatst moet zijn op één fundering, alle belasting van de bebouwing moet opgevangen worden door deze fundering.
4.2	➤ De constructie dient overal toepasbaar te zijn, dus ook wanneer er weinig ruimte is om het huis heen. (ook gebieden buiten de casus).
5	Fundering
5.1	➤ De fundering dient te bestaan uit een paalfundering

Tabel 1 *Eisen aan de oplossing voor het onderzoek vijzelbaar bouwen*

Bovenstaande eisen zijn geformuleerd op basis van het volgende;

1. Dijklichaam:
 - Het dijklichaam (zoals aangegeven in figuur 22) moet buiten de scope van het onderzoek blijven. De waterkerende functie van de dijk altijd in stand worden gehouden.
2. Stabiliteitsberm;
 - De vraag van dit onderzoek richt zich op het verplaatsen van de bebouwing van de huidige stabiliteitsberm naar de toekomstige berm.
 - De stabiliteitsberm moet altijd zijn functie kunnen blijven vervullen. De opbouw (zandkern + kleilaag) van de berm is daarvoor erg belangrijk.

3. Profiel van vrije ruimte;

- Ook hier geldt dat de bebouwing verplaatst moet worden vanaf de huidige stabiliteitsberm naar de toekomstige berm. De toekomstige berm zal ongeveer de hoogte van het profiel van vrije ruimte hebben.
- De grond die benodigd is om de dijk conform het profiel van vrije ruimte te versterken moet altijd kunnen worden aangebracht. De constructie van de woning zal dus flexibel moeten zijn.

4. Bebouwing;

- Een voorwaarde voor de bebouwing is dat deze zich zoveel mogelijk kan gedragen als één geheel, dit betekend dat er bijvoorbeeld geen losse aanbouw aan de woning (bijv. een erker) gewenst is. Dit in verband met het eenvoudig kunnen vijzelen van de woning. De woning kan zo niet alleen gemakkelijker worden gevijzeld, ook kan de woning de horizontale krachten beter opnemen.
- De oplossing van dit onderzoek moet ook breed toepasbaar zijn. De oplossing moet bijvoorbeeld ook kunnen worden toegepast wanneer er rondom de woning weinig ruimte is doordat er hier andere bebouwing aanwezig is.

5. Fundering;

- De fundering moet bestaan uit een paalfundering met een stijve plaat waarop de woning geplaatst is. Een paalfundering is wenselijk vanwege de te verwachten zettingen in de ondergrond. De zettingen zijn te verwachten vanwege de relatief slappe ondergrond en het opbrengen van een hoeveelheid grond bij het versterken van de dijk.

4.3 Keuze principes

De eisen die geformuleerd zijn in §4.2 gelden als basis voor de schetsontwerpen. Alle principes uit §2.2 en §2.3 zijn naast deze eisen gelegd. Uit deze filtering volgen een aantal principes waarmee de schetsontwerpen worden opgesteld. Het doel is om zo een oplossing te kunnen vinden die het best in de scope en de vraag van dit onderzoek past.

In tabel 2 staat deze filtering van de principes weergegeven. De principes (A t/m Q) komen overeen met de principes uit §2.2 en §2.3. De eisen (1.1 t/m 5.2) komen overeen met de eisen in §4.2. Wanneer een principe niet kan voldoen aan een bepaalde eis is dit weergegeven met rood. Wanneer een principe wel kan voldoen aan een eis is dit weergegeven met groen. De principes die aan alle eisen kunnen voldoen zijn meegenomen ten behoeve van het opstellen van de schetsontwerpen. Uit de weerlegging is gebleken dat de volgende principes voldoen aan alle eisen;

- Vijzelen langs de palen;
- Jack- Up;
- Tussenstuk;
- Telescooppalen.

Deze principes zijn vijzelmethoden of verplaatsingen door een aandrijving. De principes voldoen vooral aan alle eisen omdat deze principes zorgen voor een verplaatsing van de huidige berm naar de grond conform het profiel van vrije ruimte. Ook zorgen deze principes ervoor dat de dijk altijd kan worden versterkt, de woning is flexibel. Deze principes passen dus het best binnen de scope en de vraag van dit onderzoek.

Principes		Eisnummers							
ID	Omschrijving	1.1	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1
A	Woning met geïntegreerde kelder	-	-	-	X	X	-	-	-
B	Woning verhoogd bouwen op palen	-	X	-	X	-	-	-	-
C	Verhoogd bouwen op een terp	-	X	-	-	-	-	-	-
D	Woonconstructie buiten het PVVR	-	X	-	X	-	X	X	-
E	Vijzelen + Verplaatsen	-	-	-	-	-	-	X	-
F	Woning op rails	-	-	-	X	-	-	X	-
G	Demontabele woning	-	-	-	-	-	X	-	-
H	Hangend huis	-	-	-	-	-	-	X	X
I	Vijzelen langs de palen	-	-	-	-	-	-	-	-
J	Vijzelen uit de muur	-	-	-	X	X	-	-	-
K	Injecteren	-	-	X	-	X	-	-	X
L	Hijspatform	-	-	X	-	-	-	-	-
M	Jack-Up	-	-	-	-	-	-	-	-
N	Tussenstuk	-	-	-	-	-	-	-	-
O	Telescooppalen	-	-	-	-	-	-	-	-
P	Hefboom	-	-	-	-	-	-	X	-
Q	Vijzelen vanaf een externe vloer	-	-	-	-	-	-	X	-

Tabel 2 Weerlegging principes aan de eisen

Een aantal principes voldoet niet aan alle eisen. Onderstaand wordt hier per principe een onderbouwing voor gegeven;

- A. Woning met geïntegreerde kelder;
 - o Er blijft een constructie aanwezig in de berm na de bermophoging (dit is nadelig omdat dit de werking van de steunberm aantast);
 - o Het proces van verplaatsing van de woning van de huidige berm naar de nieuwe hoogte van de toekomstige berm vervalst.
- B. Woning verhoogd bouwen op palen;
 - o Verhoogd bouwen op palen zorgt ervoor dat de woning niet wordt verplaatst van de huidige berm naar de toekomstige stabiliteitsberm. De scope van dit onderzoek betreft het flexibel maken van de bebouwing (en dus het realiseren van een verplaatsing), dit principe valt daarom buiten de scope.
- C. Verhoogd bouwen op een terp;
 - o De woning wordt direct op de hoogte van de toekomstige berm geplaatst. Om eenzelfde reden als principe B valt ook dit principe af als oplossing voor dit onderzoek.
- D. Woonconstructie buiten het PVVR;
 - o Het proces van verplaatsen vervalst (idem principe B en C);
 - o De constructie is door zijn omvang niet op elke locatie toepasbaar;
 - o De woning kan zich niet als een geheel gedragen, de woning is niet geplaatst op een enkele fundering (de woning bestaat uit apart gefundeerde delen).

- E. Vijzelen + Verplaatsen van de woning;
 - Het verplaatsen van de woning is niet op iedere locatie toepasbaar, bovendien is het verplaatsen van de woning van de berm een lastige en kostbare operatie;
 - De scope van dit onderzoek betreft een verplaatsing van de huidige stabiliteitsberm naar de toekomstige berm. Na verplaatsing van de woning zal het overbodig zijn om deze weer terug te plaatsen op de toekomstige berm.
- F. Woning op rails;
 - Dit principe is net als principe E niet op elke locatie toepasbaar;
 - De bebouwing wordt na verplaatsing niet meer op de toekomstige berm geplaatst.
- G. Demontabele woning;
 - Dit principe is wel een goede oplossing, maar valt buiten de scope van dit onderzoek. Demontabele woningen bestaan vaak uit losse onderdelen die zich apart van elkaar gedragen en zijn dus niet in hun geheel te verplaatsen.
- H. Hangend huis;
 - De fundering van deze woning bestaat niet uit een paalfundering;
 - De constructie is niet op elke locatie toe te passen (er is bijvoorbeeld niet overal ruimte om een dergelijke zwaar gedimensioneerde hijsconstructie te plaatsen). Ook vereist dit een zeer kostbare fundering.
- J. Vijzelen uit de muur;
 - De onderbouw van de woning blijft achter in de berm;
 - De bebouwing bevindt zich na verplaatsing niet volledig op de nieuwe hoogte, een daadwerkelijke verplaatsing van de huidige berm naar de toekomstige berm is niet aanwezig.
- K. Injecteren;
 - Injecteren tast de grondopbouw van de stabiliteitsberm aan;
 - De verplaatsing die bereikt kan worden door injecteren is niet voldoende om tot de hoogte van de toekomstige berm te reiken;
 - Injecteren is enkel van toepassing als de fundering van de woning bestaat uit een fundering op staal.
 - Het injecteren van de grond wordt vaak toegepast om kleine zettingen of verzakkingen te compenseren, niet om een gehele woning op te 'tillen'.
- L. Hijsplatform;
 - De constructie is vrij fors, het neemt veel ruimte in de berm in beslag en tast daarmee ook de opbouw van de berm aan.
- P. Hefboom;
 - De hefboom zal van dusdanige grootte moeten zijn dat deze niet op elke locatie toepasbaar is.
- Q. Vijzelen vanaf een externe vloer;
 - De externe vloer zal van dusdanige grootte moeten zijn dat deze niet op elke locatie toepasbaar is.

5. Schetsontwerpen

Op basis van de principes die voort zijn gekomen uit de weerlegging in §4.3 zijn een aantal schetsontwerpen opgesteld. De schetsontwerpen zijn;

- Vijzelen langs de palen;
- Jack- Up katrolmechanisme;
- Jack- Up tandwielmechanisme;
- Tussenstuk;
- Telescooppalen.

Onderstaand wordt elk schetsontwerp beschreven. Ieder schetsontwerp is opgedeeld in de onderdelen ruimte, constructie en aandrijving. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in het schets- en toetsrapport (bijlage III) in dit rapport zijn ook de schetsontwerpen te vinden van de varianten.

5.1 Vijzelen langs de palen

Vijzelen langs de palen is een traditionele vijzelmethodiek die vaak wordt toegepast om bestaande bebouwing te vijzelen. Ten behoeve van het vijzelbaar maken van het gebouw is een groot aantal noodzakelijke voorbereidingsstappen in het proces van vijzelen langs de palen al in de woning aangebracht. De palen steken door de vloer van de woning heen, de woning hangt als het ware aan deze palen. Wanneer de woning moet worden gevijzeld hoeven enkel een aantal vijzels en een kleine hulpconstructie te worden aangebracht. De stel mogelijkheden van de woning op de nieuwe hoogte zijn zeer nauwkeurig, ook is deze manier van vijzelen relatief goedkoop.

Ruimte

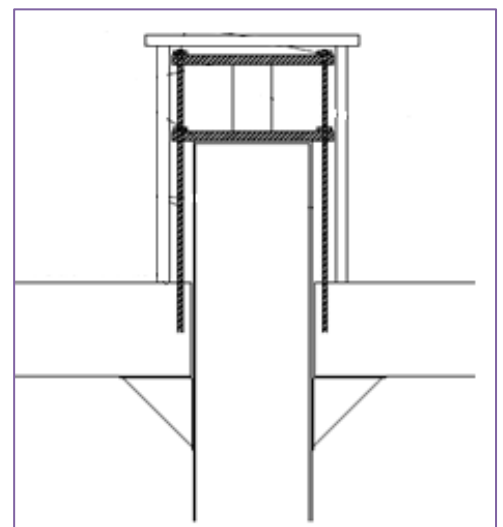
Vanwege de volgende punten is er ruimte in de constructie vrij gehouden;

- De palen steken door de vloer heen;
- De plaats van het vijzelmechanisme bevindt zich boven de vloer en is eenvoudig toegankelijk.

Constructie

De constructie bestaat uit de volgende onderdelen;

- Een stalen funderingspaal die door de vloer heen steekt;
- Een stalen hoekprofiel dat dient als oplegging voor de vloer;
- Een inkassing gemaakt in de muur om ruimte te creëren voor de vijzelconstructie;
- Na vijzelen wordt een nieuwe oplegging aangebracht door een nieuw hoekprofiel aan te lassen of de vloer op te storten.



Figuur 23 Vijzelen langs de palen

Aandrijving

De aandrijving van deze constructie bestaat uit;

- Een hydraulische vijzel inclusief vijzelconstructie. De vijzelconstructie bestaat uit een tweetal dwarsbalken die voorzien zijn van trekstangen. Deze trekstangen trekken de vloer omhoog.

5.2 Jack-Up

De Jack-Up methode is een methode die veel gebruikt wordt in de offshore industrie en de natte waterbouw (bijv. spudpalen). De jack-up methode is gebaseerd op een mechanisme waarbij de palen door het platform (woning) heen steken. De woning kan verticaal worden verplaatst door gebruik te maken van een permanente tandenbaan met tandwielmechanisme of met behulp van een katrolmechanisme. Van deze methoden zijn verschillende schetsontwerpen gemaakt.

5.2.1 Katrolmechanisme

Bij deze variant wordt er, wanneer er een verplaatsing nodig is, een katrol bovenop de palen aangebracht. Deze katrol is met kabels verbonden met de vloer, zodat de vloer omhoog kan worden getrokken. De palen steken, net als bij het vijzelen langs de palen, door de vloer heen. De constructie is zo eenvoudig toegankelijk.

Ruimte

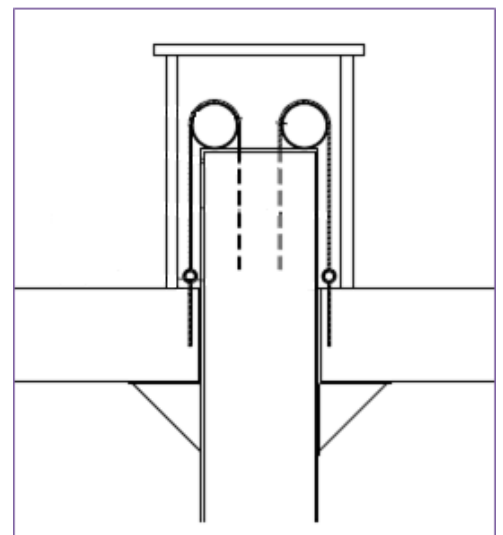
Vanwege de volgende punten is er ruimte in de constructie vrij gehouden;

- De palen steken door de vloer heen;
- Het katrolmechanisme bevindt zich boven de vloer en is daardoor eenvoudig toegankelijk.

Constructie

De constructie bestaat uit de volgende onderdelen;

- Een stalen funderingspaal die door de vloer heen steekt;
- Een stalen hoekprofiel dat dient als oplegging voor de vloer;
- Een inkassing in de muur om ruimte te creëren voor de katrol;
- Na vijzelen wordt een nieuwe oplegging aangebracht door een nieuw hoekprofiel aan te lassen of de vloer op te storten.



Figuur 24 Katrolmechanisme

Aandrijving

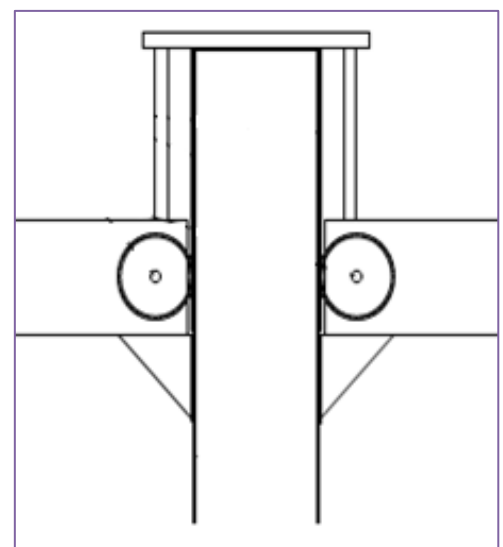
De aandrijving van deze constructie bestaat uit;

- Een katrolsysteem dat bovenop de paal is geplaatst. De trekdraden van het katrolsysteem zijn aan de vloer bevestigd met trekstangen.

5.2.2 Tandwielmechanisme

Deze variant komt op veel punten overeen met het katrolmechanisme. Het verschil is dat de verplaatsing wordt uitgevoerd door tandwielen. Deze tandwielen worden aangebracht in de vloer. De vloer beweegt via deze tandwielen over een tandenbaan op de palen. Deze constructie neemt minder ruimte in beslag, er is boven de palen namelijk geen open ruimte benodigd voor het aanbrengen van een aandrijving.

De bovenstaande varianten (§5.2.1 & §5.2.2.) zijn relatief kostbare methoden. Ook zijn de stel-mogelijkheden en de nauwkeurigheid daarvan kwetsbaarder dan bijvoorbeeld het traditioneel vijzelen van de woning.



Figuur 25 Tandwielmechanisme

5.3 Tussenstuk

De methode tussenstuk is al eens toegepast bij de dijkwoningen in Papendrecht (zie referentie hoofdstuk 2). De constructie bevindt zich volledig onder de vloer van de woning. De palen zijn voorzien van een constructie waarop vijzels geplaatst kunnen worden. Na vijzelen worden de palen verlengd door het plaatsen van een stalen tussenstuk.

Ruimte

Het volgende onderdeel is aangebracht om ruimte te creëren;

- Het plaatsen van een oplegging aan de buitenzijden van de paal om hierop de vijzels te kunnen plaatsen.

Constructie

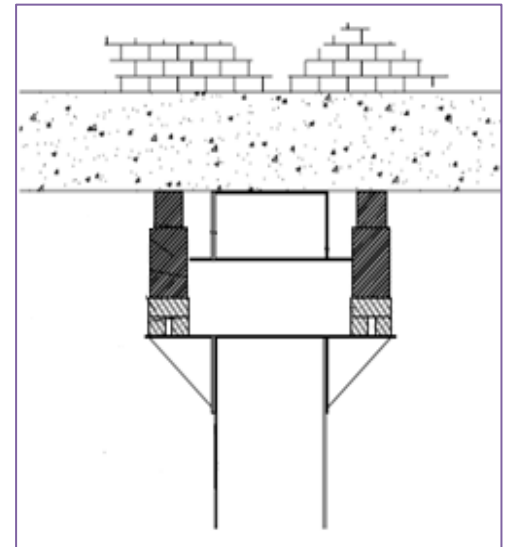
De constructie bestaat uit de volgende onderdelen;

- Een stalen funderingspaal onder de vloer;
- Een stalen hoekprofiel als oplegging voor het plaatsen van de vijzels;
- Een koppeling in de paal. De paal wordt hierdoor demontabel;
- Een verlengstuk om de paal te verlengen na het vijzelen.

Aandrijving

De aandrijving van deze constructie bestaat uit;

- Een (hydraulische) vijzel. Deze worden aangebracht op de stalen hoekprofielen.



Figuur 26 Tussenstuk

5.4 Telescooppalen

De laatste variant is de methode telescooppalen. De paal bestaat uit een binnenpaal en een buitenpaal die afzonderlijk van elkaar kunnen bewegen. Wanneer de woning wordt gevijzeld beweegt de binnenpaal met de vloer mee. Na vijzelen kan de binnenpaal weer aan de buitenpaal worden bevestigd door deze bijvoorbeeld aan elkaar vast te lassen.

Ruimte

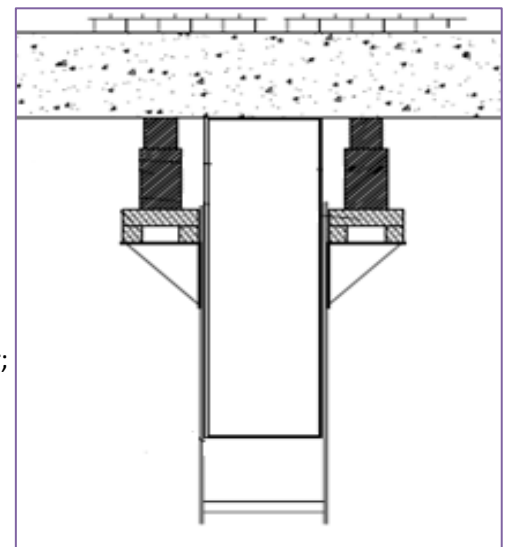
Het volgende onderdeel is aangebracht om ruimte te creëren;

- Het plaatsen van een oplegging aan de buitenzijde van de paal om hierop de vijzels te kunnen plaatsen.

Constructie

De constructie bestaat uit de volgende onderdelen;

- Een stalen funderingspaal (binnenpaal + buitenpaal) onder de vloer;
- Een stalen hoekprofiel als oplegging voor de vijzels;
- Na vijzelen wordt een nieuwe oplegging van de binnenpaal geconstrueerd door deze vast te lassen of de ontstane ruimte op te vullen.



Figuur 27 Telescooppalen

Aandrijving

De aandrijving van deze constructie bestaat uit;

- Een (hydraulische) vijzel. De vijzels worden aangebracht op de stalen hoekprofielen.

6. Toetsing

De vijf schetsontwerpen uit Hoofdstuk 5 zijn getoetst aan de hand van een trade-off matrix. Deze matrix bevat een aantal criteria aan de constructie. Ook wordt een globale schatting gemaakt van de te verwachten kosten en wordt er gekeken in hoeverre het vijzelen van de woning overlast kan veroorzaken voor de bewoners van het pand. Zie voor de volledige toetsing het schets- en toetsrapport (bijlage III).

6.1 Methode

De matrix bestaat uit drie onderdelen. Elk onderdeel heeft een eigen weging. Deze weging is uitgedrukt in percentages van het totaal. Onderstaand staan de drie onderdelen genoemd inclusief een onderbouwing van de weging.

- **Constructie specifieke eisen** [30%].
De maakbaarheid van de constructie is een belangrijke factor. Er wordt een schatting gedaan naar de werking van de constructie.
- **Kosten indicatie** [50%].
De kosten zijn de meest bepalende factor of de gekozen oplossing uiteindelijk in de LCC-analyse kan opwegen tegen bijvoorbeeld sloop en herbouw van de woning.
- **Hinder en overlast tijdens de uitvoering** [20%].
Hinder en overlast is slechts een tijdelijke factor en weegt daarom het minst mee in de matrix. Toch is hinder en overlast voor de bewoners wel belangrijk en wordt dus meegenomen.

Binnen deze onderdelen geldt er ook een specifieke weging (zie tabel 3). Dit is gedaan om de verschillende criteria binnen de onderdelen te kunnen rangschikken ten opzichte van elkaar. De realisatiekosten wegen bijvoorbeeld zwaarder dan de kosten die gemaakt moeten worden tijdens de uitvoering.

Uiteindelijk is er voor elke variant per criteria een score toegekend. De score (zie tabel 4) geeft aan in hoeverre de variant scoort op een criteria ten opzichte van de andere varianten. De score wordt vervolgens vermenigvuldigd met de desbetreffende wegingsfactor. De totaalscore van een variant is;

$$\text{Score variant} = \sum \left(\sum [\text{Score} * \text{Wegingsfactor (Criteria)}] * \text{Wegingsfactor (onderd.)} \right)$$

Voor de kosten is een aparte matrix opgenomen. De kosten zijn niet gesteld in exacte getallen, maar zijn opgedeeld naar prijsniveaus (Zie tabel 5). De weging van de kosten geeft aan in hoeverre deze kosten hoog of laag zijn ten opzichte van de andere kosten. De totale score wordt uiteindelijk vertaald naar scores die ingevuld kunnen worden in de trade-off matrix.

Weging (per criteria)	
Minst	0,8
Minder	0,9
Neutraal	1,0
Meer	1,1
Meest	1,2

Tabel 3 Weging per criteria.

Scores (per criteria)	
Slechtst	1
Minder slecht	2
Neutraal	3
Beter	4
Best	5

Tabel 4 Scores per criteria

Weging kosten	
Rel. lage kosten	1
Gem. kosten	3
Rel. hoge kosten	5

Tabel 5 Weging kosten

6.2 Trade-Off Matrix

In de trade-off matrix worden een aantal criteria gesteld. Onderstaand worden deze criteria genoemd en wordt er een onderbouwing gegeven van de criteria;

6.2.1 Constructie

Zichtbaarheid van de constructie

De zichtbaarheid van de constructie is niet wenselijk vanuit het oogpunt van de bewoner. De constructie moet zo min mogelijk in het zicht zijn, zodat de bewoner er weinig last van ondervindt. Het is daarom wenselijk dat de constructie zoveel mogelijk onder de grond zit.

Flexibiliteit in de indeling van de woning

De woning moet zoveel mogelijk kunnen worden ingedeeld naar de wens van de architect en de bewoner. Wanneer de palen in de muur van de woning zijn geïntegreerd is de ontwerpvrijheid kleiner dan wanneer de palen zich onder de vloer van de woning bevinden. De keuze voor een bepaalde plattegrond van de woning moet een vrije keuze blijven.

Globale levensduur (onderhoud)

De constructie moet nog werkend zijn over een periode van 50 jaar. Daarom is er gekeken naar waar de cruciale onderdelen van de constructie zich bevinden. Het is hierbij voordeliger voor de levensduur wanneer deze onderdelen zich boven de grond bevinden. De constructiedelen kunnen dan niet worden aangetast door bijvoorbeeld grondwater, ook is er meer mogelijkheid tot eventueel benodigd onderhoud. Een optimale levensduur zal nooit gehaald worden, de levensduur van een constructie loopt altijd iets terug.

Haalbaarheid van de constructie

De constructie moet realiseerbaar zijn. Er is gekeken naar de moeilijkheid/omvang van de werkzaamheden die benodigd zijn voor het aanbrengen van de constructie en/of het uitvoeren van de verplaatsing, daarbij hoort ook de 'maakbaarheid' om de constructie aan te brengen dan wel de verplaatsing uit te voeren. Er is ook gekeken of de constructie aansluit op wat er op dit moment mogelijk is betreffende vijzeltechnieken.

Betrouwbaarheid

De constructie moet zich bij het aanbrengen en voor, tijdens en na het vijzelen gedragen zoals dit is bedoeld. De constructie moet altijd werken, er is daarom gelet op een bepaald risico dat de constructie niet werkt wanneer dit nodig is. Het risico is groter wanneer dit een ingewikkelde constructie is waar ook nog geen ervaring mee is. De kwetsbare delen van de constructie moeten ook goed beschermd zijn.

6.2.2 Kosten

Meerkosten realisatie constructie (Kosten nu)

De kosten die gemaakt moeten worden om de constructie te realiseren gelden als de belangrijkste investering. Voor deze kosten kan niet gespaard worden zoals het geval is bij kosten in de toekomst. De kosten die voor de realisatie zijn meegenomen zijn de meerkosten die gemaakt moeten worden ten opzichte van een woning die niet opvijzelbaar is.

Kosten uitvoering verplaatsing (Kosten over 50 jaar)

De kosten voor het uitvoeren van de verplaatsing zijn de kosten die over 50 jaar gemaakt moeten worden om de woning te kunnen vijzelen. Ook de kosten om de constructie na vijzelen weer vast te zetten zijn hierin meegenomen. De kosten zijn gebaseerd op het aantal werkzaamheden dat moet worden uitgevoerd en de constructieonderdelen die benodigd zijn om de constructie weer vast te zetten na vijzelen.

6.2.3 Hinder en overlast

Kans op schade tijdens werkzaamheden

De kans op schade tijdens de verplaatsingswerkzaamheden worden geschat op basis van het aantal werkzaamheden en de omvang van de werkzaamheden die moeten worden uitgevoerd. De horizontale krachten die optreden in de constructie tijdens het vijzelen en de stijfheid van de funderingsplaat zijn hierbij belangrijk. Ook de mate van risico op eventuele schade aan de woning is hierbij meegenomen.

Omvang van de werkzaamheden

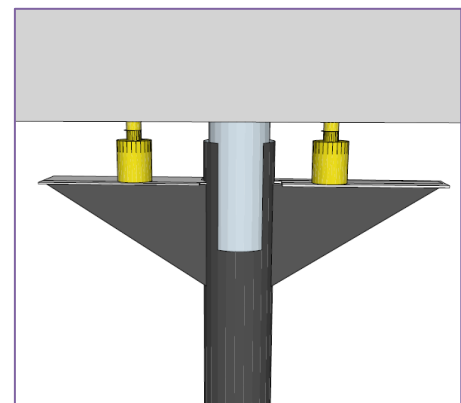
Binnen de omvang van de werkzaamheden is er vooral gekeken naar de tijdsduur die de werkzaamheden in beslag nemen. Tijdens de vijzelwerkzaamheden is het vaak mogelijk dat de bewoners het pand kunnen blijven betrekken. Wanneer de werkzaamheden in een korter tijdsbestek kunnen worden uitgevoerd ondervinden de bewoners minder hinder van de werkzaamheden.

6.3 Conclusie

Uit de toetsing volgt dat het toepassen van telescooppalen geldt als een goede oplossing voor het vijzelbaar maken van een woning. De oplossing heeft echter bijna eenzelfde score als de methode tussenstuk. De methode tussenstuk is een methode die al eens is gerealiseerd (zie hoofdstuk 2) en is daardoor ook als een iets betrouwbaardere constructie gezien. De methode telescooppalen is qua uitvoering echter betrouwbaarder, dit om de volgende redenen;

- Het is een vrije robuuste constructie. De constructie is hierdoor minder gevoelig voor eventuele aantasting.
- De kosten tijdens de uitvoering en het aantal werkzaamheden worden lager geschat omdat na de verplaatsing de constructie enkel moet worden vast gelast, er hoeft geen speciaal tussenstuk gemaakt te worden.
- De telescooppaal kan de horizontale krachten die optreden en het moment dat daarbij optreedt in de palen tijdens het vijzelen en ten gevolge van de bermophoging beter opnemen (de woning blijft altijd 'verbonden' met de funderingspalen);

De methode 'Telescooppalen' zal verder worden gebruikt in de geotechnische berekeningen en in de LCC-analyse.



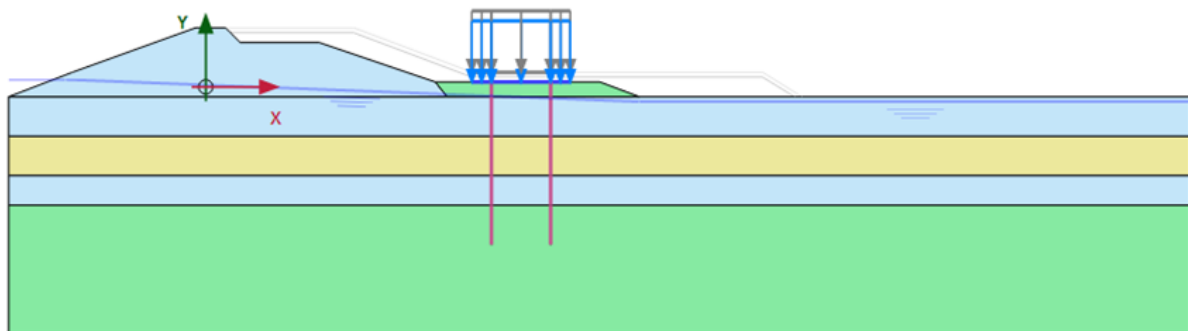
Figuur 28 Telescooppaal

7. Technische uitwerking

De oplossing die voortkomt uit de trade-off matrix (hoofdstuk 6) is geotechnisch verder uitgewerkt. De geotechnische berekeningen zijn gemaakt met het calculatieprogramma Plaxis. Het doel van de berekeningen is om voor verschillende situaties te bekijken wat de invloed is van de grondophoging op de funderingsconstructie. Aan de hand van de uitkomsten kan een advies gegeven worden op welke manier de fundering moet worden uitgevoerd om de negatieve invloeden van deze bermophoging zo klein mogelijk te houden. Het volledige berekeningsrapport is te vinden in bijlage IV.

7.1 Invoer

In Plaxis is een dijklichaam gesimuleerd inclusief bebouwing. De grondgegevens die in het model zijn ingevoerd zijn gebaseerd op het geotechnisch lengteprofiel en de Mstab berekeningen van het dijkversterkingsproject KIS ter plaatse van de casuslocatie (zie hoofdstuk 3). De grondopbouw is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid aangezien dit model enkel wordt gebruikt om de invloed van de grondophoging op de fundering in kaart te brengen en de verschillen aan te duiden tussen de berekeningsresultaten van de constructieve uitvoeringen van de fundering. Ook is het model niet locatie specifiek, maar moet het representeerbaar zijn voor iedere rivierdijk. In figuur 29 is de invoer van het model te zien. Een volledige beschrijving van de invoer staat gegeven in het berekeningsrapport (zie bijlage IV).



Figuur 29 Dwarsprofiel van de invoer van het Plaxis model (Groen = Zand, Blauw = Klei, Geel = Veen).

7.2 Methodiek

7.2.1 Fasering

De berekening is opgedeeld in een aantal berekeningsstappen. De fasering is zo gekozen dat het proces van vijzelen en bermophoging de werkelijkheid goed simuleert. De verschillende berekeningsstappen zijn;

Fase 0 - Initiële fase – De originele uitgangssituatie (in de dijk zijn nog geen constructies aangebracht);

Fase 1 - Palen aanbrengen – De palen worden in de berm geplaatst zonder bovenbelasting;

Fase 2 - Bebouwing aanbrengen – Op de palen wordt de vloer met bovenbelasting (woning) aangebracht;

Fase 3 - Bebouwing opvijzelen – De palen onder de vloer worden verlengd;

Fase 4 - Profiel van vrije ruimte – De berm en de dijk worden opgehoogd conform PVVR;

Fase 5 - Consolidatie – De aangebrachte grond consolideert gedurende 50 jaar;

Fase 6 - Hoogwater – De rivier neemt een hoogwaterstand (1:2000 jaar) aan.

7.2.2 Optimalisatie

De berekening is opgezet vanuit een uitgangssituatie. Vervolgens wordt er door verschillende veranderingen in de constructie aan te brengen een optimalisatie gemaakt. In de uitgangssituatie heeft de constructie de volgende eigenschappen (zie ook figuur 29);

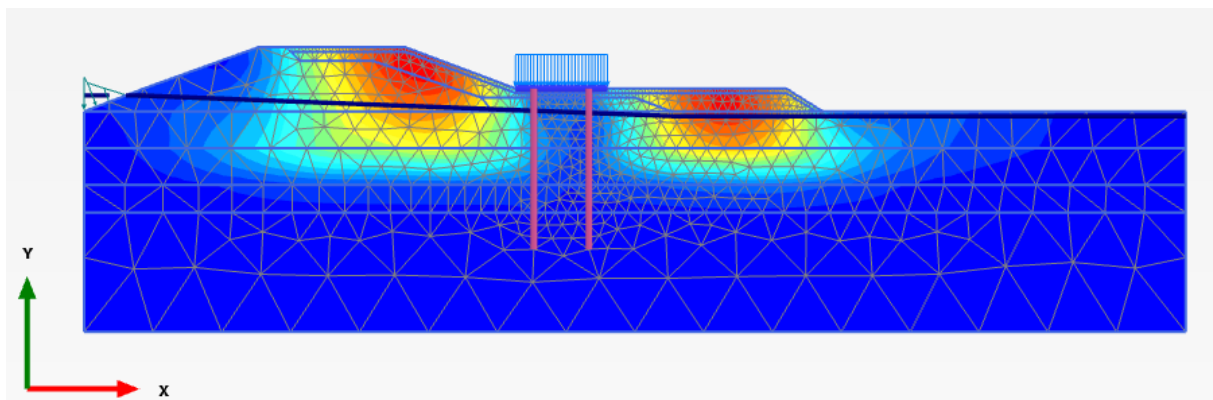
- 8 stalen funderingspalen;
- Het gebruik van een relatief sterke en stijve betonvloer;
- De palen zijn ingeklemd in de betonvloer;
- De woning staat dicht tegen de teen van de dijk;
- De diameter van de funderingspalen is $\varnothing 270$ mm.

Bij het doorrekenen van deze uitgangssituatie wordt gekeken naar de invloeden van de grondophoging op de fundering van de woning. Het doel is om de negatieve invloeden van de grondophoging zo klein mogelijk te maken. Naar aanleiding van de grootte en de plaats van de krachten, momenten en de vervormingen in de palen zal een aanpassing aan de constructie worden aangebracht. Na aanbrengen van deze aanpassing in de constructie zal worden gekeken wat de gevolgen hiervan zijn. Door deze methodiek toe te passen kan er een advies gegeven worden wat de gevolgen zijn van een bepaalde constructieve keuze op de mate van invloed van de grondophoging op de constructie. Ook kan er een optimale situatie gevormd worden waarin de negatieve effecten van de grondophoging zo klein mogelijk zijn. Deze optimale situatie geldt als advies voor het construeren van een vijzelbare woning.

7.3 Geotechnische resultaten

De grootste vervormingen en spanningen in de ondergrond treden op tijdens het aanbrengen en consolideren van de grondophoging (zie figuur 30). Ook bij het optreden van een hoogwaterstand in de rivier treden er vervormingen op in het dijklichaam. Aan de hand van de geotechnische resultaten zoals beschreven in bijlage IV kan het volgende worden geconcludeerd;

- Het aanbrengen en consolideren van de grondophoging heeft vooral verticale grondvervormingen (zettingen) als gevolg. Deze zettingen resulteren in een toename van de negatieve kleeft;
- Het aanbrengen van grond naast de woning (bijv. op het talud van de dijk) veroorzaakt horizontale grondvervormingen en daarmee horizontale krachten op de palen;
- Tijdens een hoogwatersituatie ontstaat er door de opwaartse waterdruk in de pleistocene laag een glijvlak die de teen van de berm omhoog drukt. Het ontstaan van een glijvlak leidt tot horizontale krachten op de palen.



Figuur 30 *Grondverplaatsingen na aanbrengen van de grondophoging*

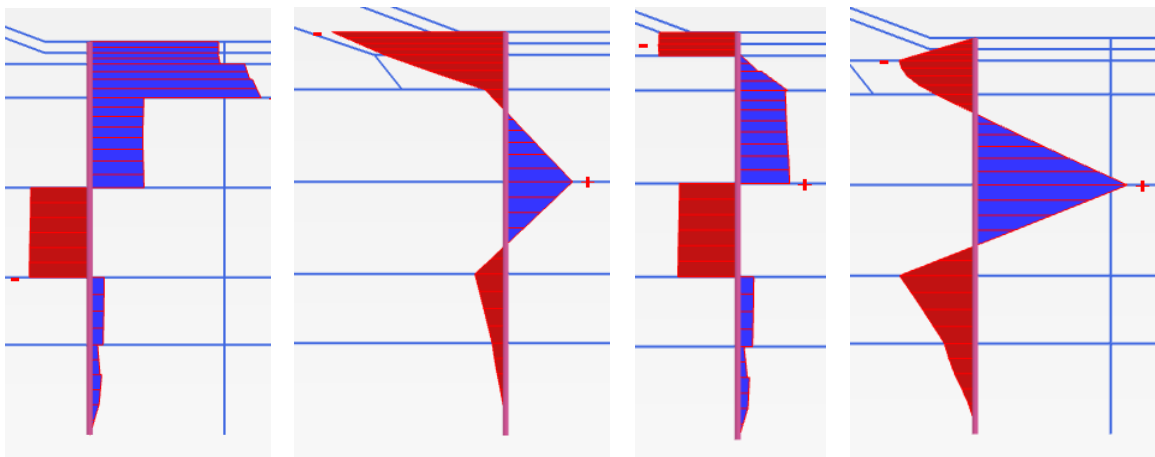
7.4 Constructie resultaten & aanbevelingen

De grootste spanningen en vervormingen in de ondergrond en daarmee krachten en vervormingen in de constructie treden op tijdens het aanbrengen en consolideren van de grondophoging en tijdens een periode van hoogwater. De resultaten van deze fasen worden onderstaand per situatie beschreven.

7.4.1 Model 1 - Uitgangssituatie

In de uitgangssituatie heeft het model de eigenschappen conform §7.2.2. Op basis van de Plaxis berekening kunnen de volgende conclusies worden getrokken;

- Bovenin de palen treden er horizontale krachten op. De krachten worden opgelegd vanuit de vloer doordat de palen ingeklemd zijn in de vloer (vaste oplegging) (zie figuur 31);
- Door het toepassen van een inklemming in de vloer treedt er bovenin de palen een kopmoment op (zie figuur 31);
- Door verplaatsingen in de ondergrond treden er onderin de palen horizontale krachten op;
- Door het consolideren van de slappe lagen ten gevolge van de grondophoging treedt er negatieve kleeft aan de palen op;
- Bovenin de paal treedt er verplaatsing op. Deze wordt veroorzaakt door het moment en de horizontale kracht in de paal.



Figuur 31 *Horizontale krachten + momenten in de palen na aanbreng van de grondophoging V.l.n.r: Hor. Krachten ingeklemd, momenten ingeklemd, hor. Krachten scharnierend opgelegd en momenten scharnierend opgelegde paal¹.*

7.4.2 Model 2 - Toepassen scharnieroplegging

Bij het toepassen van een vaste oplegging (inklemming) van de palen aan de vloer treden er horizontale krachten en een moment op bovenin de palen. De krachten en het moment veroorzaken een verplaatsing bovenin de paal. In dit model is geprobeerd om de krachten/momenten te verminderen door het toepassen van een scharnieroplegging in plaats van een inklemming. Op basis van de Plaxis berekening kunnen de volgende conclusies worden getrokken;

- Het kopmoment treedt niet meer op door het scharnierend bevestigen van de palen aan de vloer. Hierdoor is het maximale moment in de palen kleiner (zie figuur 31);
- De grootte van de negatieve kleeft aan de palen is niet verschillend ten opzichte van de uitgangssituatie;
- De horizontale verplaatsing van de palen is gelijk aan de uitgangssituatie.

¹ De afbeeldingen kunnen mogelijk zijn verschaald. De afbeeldingen zijn enkel bedoeld om de plaats aan te duiden. De grootte van de krachten is te vinden in de resultaten die geformuleerd zijn in Bijlage IV.

- De horizontale krachten op de palen zijn kleiner dan bij het toepassen van een inklemming. De paal ondervindt alleen invloed van de horizontale krachten ten gevolge van de grondverplaatsingen, de horizontale kracht bovenin de paal wordt niet meer versterkt door het ontstaan van een kopmoment.

7.4.3 Model 3 - Toepassen scharnieroplegging + meer palen/slappe vloer

In de uitgangssituatie is een zo klein mogelijk aantal palen toegepast. Het toepassen van weinig palen is om kostentechnische redenen meer aan te bevelen dan het gebruik van veel palen onder de woning. In dit model is gekeken of het toepassen van meer funderingspalen onder de woning een negatief danwel positief effect heeft op de grootte van de momenten/horizontale krachten en de vervormingen in de palen. Naast het toepassen van 18 palen in plaats van 8 palen is er een slappere en minder stijve vloer toegepast vanwege de kleinere overspanningen. Op basis van de Plaxis berekening kunnen de volgende conclusies worden getrokken;

- Er is weinig verschil in de grootte en de plaats van de horizontale krachten en de momenten;
- De negatieve kleeft is iets groter dan bij het toepassen van weinig palen;
- Er is geen verschil in de grootte van de verplaatsing in de palen.

7.4.4 Model 4 - Toepassen scharnieroplegging + verplaatsen woning

Het toepassen van veel palen onder de woning heeft weinig verschil met het toepassen van weinig palen onder de woning. Om kostentechnische redenen en ter bevordering van het vijzelen is het toepassen van weinig palen aantrekkelijker. Daarom is er in dit model verder gerekend met weinig palen onder de woning. In dit model is geprobeerd de grootte van de krachten/momenten in de palen te verminderen door de woning op grotere afstand van het talud van de dijk te plaatsen. De horizontale vervormingen en de spanningen in de ondergrond zijn hierdoor minder. Op basis van de Plaxis berekening kunnen de volgende conclusies worden getrokken;

- Het verplaatsen van de woning vermindert de grootte van de horizontale krachten en de momenten;
- Er is geen verschil in de grootte van de negatieve kleeft;
- De vervormingen in de paal zijn kleiner. Dit komt door de lagere horizontale krachten en de lagere invloeden van de horizontale grondvervormingen vanuit het dijktalud.

7.4.5 Model 5 - Toepassen scharnieroplegging + verplaatsen woning + kleinere paaldiameter

De woning verder uit het talud van de dijk plaatsen geeft een reductie in de horizontale krachten en momenten in en de verplaatsing van de paal. Als laatste variant wordt er gekeken of een kleinere paaldiameter van invloed is op de grootte van de horizontale krachten en momenten en de horizontale verplaatsing van de paal. Ook heeft een kleinere paaldiameter invloed op de negatieve kleeft. Op basis van de Plaxis berekening kunnen de volgende conclusies worden getrokken;

- De horizontale krachten en het optredend moment zijn kleiner bij een kleinere paaldiameter;
- De negatieve kleeft wordt kleiner bij het toepassen van een kleinere paaldiameter;
- De vervorming in de paal is groter. Dit komt doordat de sterkte van de paal bij een kleinere diameter lager is.

7.5 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten uit §7.3 en §7.4 kunnen er aanbevelingen worden gedaan. Er moet bij het construeren van een vijzelbare woning op de berm van de dijk rekening gehouden worden met de volgende nadelige invloeden van de grondophoging op de funderingsconstructie;

- Er treden horizontale vervormingen op in de ondergrond door het aanbrengen van grond op het dijklichaam. Deze vervormingen zorgen resulteren in horizontale krachten op de palen;
- Door het ontstaan van een glijcirkel ten tijde van hoogwater treden er ook horizontale grondverplaatsingen op. Hierdoor ontstaan ook horizontale krachten op de palen;
- Door het aanbrengen en consolideren van de grondophoging treden er verticale grondvervormingen (zettingen) op. De slappe grondlagen gaan inklinken. Dit resulteert in een toename van de negatieve kleeft.

De gevolgen van de nadelige invloeden (negatieve kleeft en horizontale krachten) vanuit de bermophoging op de funderingsconstructie kunnen verminderd worden door de volgende maatregelen te treffen;

- Het scharnierend bevestigen van de vloer op de funderingspalen. Hierdoor wordt het kopmoment in de palen dat ontstaat door vervormingen in de vloer weggenomen. Het moment en de horizontale krachten in de palen wordt hierdoor gereduceerd;
- De vloer van de woning moet gedimensioneerd worden als een sterke en stijve vloer. Ook moeten er zo min mogelijk palen worden toegepast. Dit is kostentechnisch en uitvoeringstechnisch het meest aantrekkelijk. Ook zorgt een sterke en stijve vloer ervoor dat de palen bij elkaar gehouden worden tijdens het vijzelen en dat de doorbuiging in de vloer kleiner is als deze zich boven maaiveld bevindt. Hierdoor neemt de kans op schade tijdens het vijzelen af;
- Wanneer dit mogelijk is moet de woning op een zo groot mogelijke afstand van het dijktaalud gebouwd worden. De invloed van de horizontale krachten vanuit de ophoging van het dijktaalud is kleiner naarmate de afstand groter is;
- Om de negatieve kleeft te verkleinen moet er gezocht worden naar een zo klein mogelijke paaldiameter. Hierdoor treden er, door een geringere schelpvorming, kleinere horizontale krachten op. Hierbij moet er wel rekening worden gehouden met een kleinere stijfheid van de palen.

Wanneer er telescooppalen worden toegepast om een vijzelbare woning te maken moet er extra rekening worden gehouden met horizontale vervormingen in de palen. Een te grote vervorming van de paal kan er voor zorgen dat de binnenpaal klem komt te zitten in de buitenpaal. De woning zou dan niet of moeilijk kunnen worden gevizeld ten tijde van een dijkversterking. De grootste vervormingen treden echter op bij het aanbrengen en consolideren van de grondophoging. De woning wordt gevizeld voordat de grondophoging wordt aangebracht. Er is uitgegaan van een planperiode van 100 jaar waarbij de dijkversterking na 50 jaar wordt uitgevoerd. Vijzelen van de woning na het versterken van de dijk zal dus niet meer nodig zijn. De woning kan dus één keer tijdens zijn levensduur worden gevizeld.

Het meermaals van vijzelen van de woning met behulp van de telescooppalen is niet mogelijk omdat;

- Na de bermophoging treden er (grotere) horizontale vervormingen op in de palen. Dit heeft als gevolg dat het risico groter wordt dat de binnenpaal klem komt te zitten in de buitenpaal;
- Er is een langere binnenpaal benodigd. Het risico dat de binnenpaal klem komt te zitten in de buitenpaal is dan groter;
- De oplegging voor de vijzels komt steeds dieper ten opzichte van de vloer van de woning te liggen. Dit bemoeilijkt het plaatsen van de vijzels en de uitvoering van het vijzelen;
- De verbinding van de binnenpaal aan de buitenpaal ligt dieper onder maaiveld. Het is lastiger om deze te bereiken om de binnenpaal los te koppelen van de buitenpaal.

8. Omgeving

Onderdeel van de opdracht is de vraag hoe de omgeving rondom het pand het beste kan worden aangepast. In dit hoofdstuk wordt een advies gegeven hoe kan worden omgegaan met de kabels en leidingen ten behoeve van de woning. Ook wordt er een advies gegeven hoe eventuele uitbreidbaarheid (uitbouw) van de woning kan worden gerealiseerd. De informatie die is gegeven is onder andere verkregen door gesprekken met deskundigen binnen Waterschap Rivierenland.

8.1 Kabels en leidingen

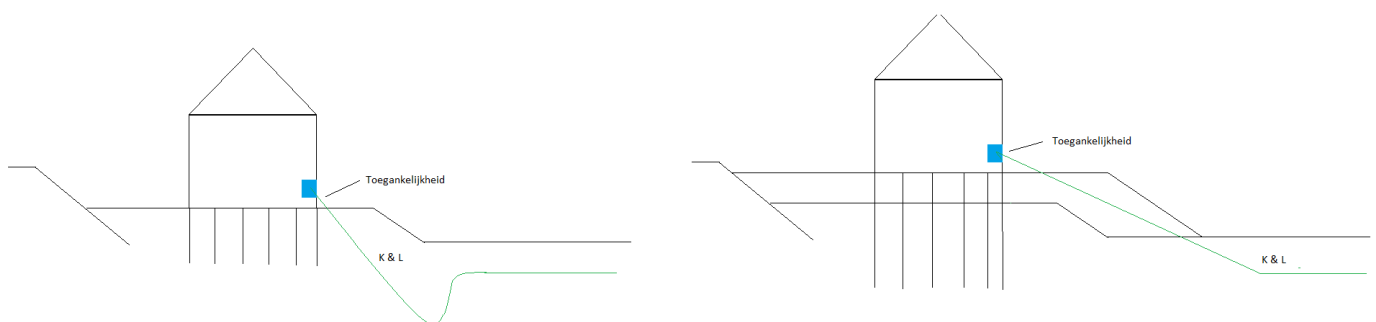
De kabels en leidingen komen bij een 'normale' woning vanuit de grond de woning binnen via de elektriciteitskast. Ten behoeve van eventuele aanpassing van de leidingen is er vaak een kruipruimte onder de woning aanwezig. Over het algemeen is er bij woningen aan de dijk geen kruipruimte aanwezig in verband met de mogelijkheid van piping. Aan de rivierzijde van de woning bevinden zich geen leidingen, de leidingen komen de woning binnen via de achterkant. De meterkast bevindt zich dan ook aan de achterzijde van de woning.

Een tweetal voorwaarden voor de omgang met kabels en leidingen in het kader van vijzelbaar bouwen zijn;

- Toepassen van flexibele leidingen (de leidingen moeten de zettingen van de ondergrond kunnen opvangen en eenvoudig kunnen meebewegen met de woning);
- De leidingen moeten toegankelijk zijn (bij eventueel onderhoud of een kapotte leiding moet men eenvoudig bij de leiding kunnen).

Algemene adviezen voor de omgang met kabels en leidingen die kunnen worden meegenomen bij de realisatie van een vijzelbare woning zijn;

- Leidingen flexibel uitvoeren (toepassen van flexibele materialen als bijvoorbeeld HDPE);
- Integreren van meerdere kabels en leidingen in een mantelbuis (dit heeft als voordeel dat er minder leidingen verlengd/verplaatst moeten worden);
- De meterkast aan de achterzijde van de woning plaatsen;
- Zorgen voor een aantal meter overlengte in de leiding in de ondergrond (zie figuur 32) zodat er geanticipeerd wordt op de verwachte verhoging van het pand);
- Leidingen niet te diep in de ondergrond plaatsen (bij de bermverhoging worden ze opgegraven om verhoogt te worden gelegd);
- Bij het toepassen van meerdere woningen kan er een leidingstrook geplaatst worden waar meerdere woningen op aangesloten zijn. Hierdoor wordt de totale lengte verkleind;
- Eventueel een inspectieput plaatsen om de leidingen altijd te kunnen benaderen.



Figuur 32 Aanbrengen van een 'lus' in de leiding zodat deze na vijzelen kan worden rechtgetrokken.

8.2 Woning

8.2.1 Omgeving rondom de woning

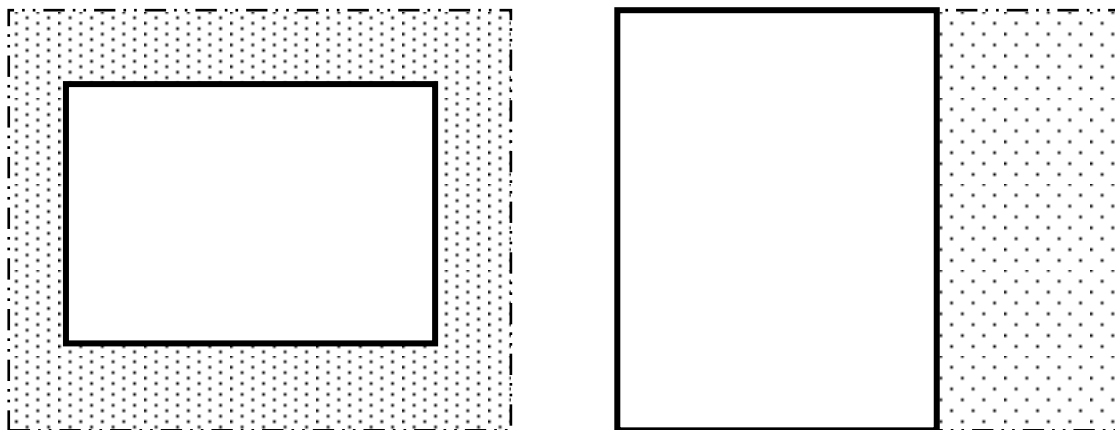
Rondom de woning bevindt zich vaak een tuin of eventueel een erftoegangsweg. Wanneer de woning wordt gevijzeld zal de tuininrichting volledig verwijderd moeten worden. De grondophoging kan niet worden aangebracht wanneer er tuininrichting aanwezig is. Een eventuele erftoegangsweg zal ook gedeeltelijk verwijderd moeten worden, na aanbreng van de dijkversterking kan deze weer worden teruggeplaatst. Een optie kan ook zijn om de toegangsweg te dimensioneren als een aanbrug die een landhoofd heeft in de kruin van de dijk, na een dijkversterking kan de brug eenvoudig worden verplaatst.

8.2.2 Uitbreidbaarheid van de woning

Eventuele uitbouw aan de woning is niet wenselijk. Een los gefundeerde uitbouw zakt onafhankelijk van de rest van de fundering. Ook tijdens het vijzelen gedraagt deze uitbouw zich als een aparte constructie. Eventuele ongelijke verplaatsingen kunnen zorgen voor scheuren in de verbinding van de vloeren. Een dergelijke aanbouw vereist dat de vloer als zeer stijf moet worden gedimensioneerd.

Het advies is om de woning te funderen op een buigstijve plaat die zich als een geheel gedraagt en geen los gefundeerde onderdelen bevat. De bovenbouw op deze plaat is naar vrije keuze van de architect. De architect kan ervoor kiezen om de bovenbouw bij realisatie te construeren als in figuur 33. De bewoner is dan geheel vrij om te kiezen voor een eventuele uitbouw.

Qua kosten is het efficiënter om de vloer alvast te construeren op een grotere woning. De vloer hoeft dan in later stadium niet meer uitgebreid te worden, wat veel kosten en complicaties met zich meebrengt. Ook blijft de woning hierdoor eenvoudig te vijzelen omdat deze zich als één gedraagt.



Figuur 33 Mogelijke vormen van de bovenbouw met mogelijkheden tot aanbouw.

9. Life Cycle Cost analyse

Het vijzelbaar maken van het pand in de vorm van het plaatsen van telescooppalen is geanalyseerd in een LCC analyse. De LCC analyse maakt duidelijk wat de levensduurkosten zijn van een vijzelbare woning en of dit op kan wegen tegen bijvoorbeeld de levensduurkosten van volledige sloop en herbouw van de woning. In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van deze analyse beschreven, de volledige analyse is te vinden in bijlage V van dit rapport.

9.1 Methode

In de LCC analyse worden een viertal varianten doorgerekend. De varianten zijn;

1. **Bouwen op een terp**

De woning wordt op de hoeveelheid grond geplaatst die benodigd is voor de toekomstige dijkversterking.

2. **Vijzelbaar Bouwen**

De woning wordt voorzien van telescooppalen die ervoor zorgen dat het gebouw eenvoudig op te vijzelen is.

3. **Bouwen + vijzelen**

De woning wordt zonder extra voorzieningen gebouwd en wordt ten tijde van de dijkversterking gevijzeld.

4. **Bouwen + sloop/herbouw**

De woning wordt zonder extra voorzieningen gebouwd en wordt ten tijde van de dijkversterking gesloopt en vervolgens weer herbouwd.

De varianten worden doorgerekend over een tijdsperiode van 50 jaar. De kosten die gemaakt worden in deze periode zijn de realisatiekosten, onderhoudskosten en de toekomstige kosten ten tijde van de dijkversterking. De toekomstige kosten zullen gemaakt worden over 50 jaar. De LCC analyse wordt gemaakt op basis van de volgende stappen;

1. Bepaling contante waarde van de toekomstige kosten (omgerekend met een discontovoet²)
2. Bepaling cumulatieve waarde van de kosten over de levensduur (met behulp van contante waarden);

Uiteindelijk worden de levensduurkosten van vijzelbaar bouwen vergeleken met de overige varianten. Door deze vergelijking kan worden bekeken welke optie op basis van levensduurkosten het goedkoopst is.

9.2 Kosten

9.2.1 Bouwen op een terp

Per variant zijn de kosten bepaald³. De eerste variant is bouwen op een terp. Het aanbrengen van de hoeveelheid grond rondom de woning geeft meerkosten t.o.v. traditionele bouw. Het voordeel van bouwen op een terp is dat er bij een dijkversterking geen kosten meer hoeven te worden gemaakt.

Bouwen op een terp	
Onderdeel	Kosten (€)
Realisatie	
Grondophoging	10.000
Woning	261.180
Onderhoud	
Vast/periodiek onderhoud	1.000
Toekomst	
Geen kosten	0

Tabel 6 raming bouwen op een terp

² Er is gerekend met een discontovoet van 2,5 % - Zie LCC Rapport in Bijlage V voor een onderbouwing.

³ De raming is gebaseerd op een aantal bronnen. Deze zijn te vinden in het LCC rapport (bijlage V).

9.2.2 Vijzelbaar bouwen

De tweede variant is vijzelbaar bouwen. Om de woning vijzelbaar te maken moeten meerkosten worden gemaakt van ongeveer €20.000,- ten opzichte van een traditionele woning. Wanneer er een dijkversterking moet worden uitgevoerd kan de woning dan voor relatief lage kosten worden gevizeld.

Vijzelbaar bouwen	
Onderdeel	Kosten (€)
Realisatie	
Vijzelbare woning	283.750
Onderhoud	
Vast/periodiek onderhoud	1.000
Toekomst	
Vijzelen	15.500

Tabel 7 raming vijzelbaar bouwen

9.2.3 Bouwen + vizelen

De derde variant bestaat uit het traditioneel bouwen van een woning. Dit betekent dat de woning niet wordt gedimensioneerd op de grondophoging en dat de woning niet vijzelbaar is. Ten tijde van de dijkversterking wordt de woning gevizeld. Het vizelen is hierbij een kostbaardere methode aangezien er van uit gegaan wordt dat er ook een funderingsverbetering moet worden uitgevoerd.

Bouwen + vizelen	
Onderdeel	Kosten (€)
Realisatie	
Woning	260.100
Onderhoud	
Vast/periodiek onderhoud	1.000
Toekomst	
Vizelen	105.500

Tabel 8 raming bouwen + vizelen

9.2.4 Bouwen + sloop en herbouw

Ook bij de vierde variant wordt de woning gebouwd zonder extra voorzieningen. Wanneer de dijkversterking moet worden uitgevoerd zal de woning volledig moeten worden gesloopt. Vervolgens wordt de woning weer herbouwd. De sloopkosten en de herbouwkosten maken de kosten die gemaakt moeten worden ten tijde van de dijkversterking erg hoog.

Bouwen + sloop/herbouw	
Onderdeel	Kosten (€)
Realisatie	
Woning	260.100
Onderhoud	
Vast/periodiek onderhoud	1.000
Toekomst	
Sloopkosten	10.000
Herbouwen woning	261.180

Tabel 9 raming bouwen + sloop en herbouw

9.3 Resultaten

Vanuit de raming kan in de LCC analyse een vergelijking worden gemaakt per variant. De kosten van de varianten die gemaakt moeten worden over een tijdsperiode van 50 jaar (de levensduurkosten) zijn vergeleken met de levensduurkosten van vijzelbaar bouwen.

9.3.1 Vergelijking Vijzelbaar bouwen – Bouwen op een terp

Ten eerste zijn de kosten van het plaatsen van een woning op een terp vergeleken met de kosten voor vijzelbaar bouwen (zie de resultaten in tabel 10). Uit deze vergelijking blijkt dat de levensduurkosten van bouwen op een terp ongeveer €17.000,- lager zijn dan vijzelbaar bouwen. Vijzelbaar bouwen is over de gehele levensduur dus duurder dan het bouwen op een terp. Dit komt vooral doordat er bij het plaatsen van de woning op een terp geen kosten gemaakt hoeven te worden ten tijde van de dijkversterking. Ook is het vijzelbaar maken van een pand iets duurder dan het plaatsen van een hoeveelheid grond rondom de woning.

Onderdeel	Vijzelbaar bouwen (€)	Bouwen op een terp (€)
Realisatiekosten	283.750	271.180
Onderhoudskosten	1.000	1.000
Toekomstige kosten	15.500	0
Toekomstige kosten (CW)	4.510	0
LCC kosten	316.330	299.250
Winst	-17.080	+ 17.080
Terugbetalingsperiode	-	-

Tabel 10 Kosten vijzelbaar bouwen ten opzichte van bouwen op een terp

9.3.2 Vergelijking Vijzelbaar bouwen – Bouwen + vijzelen

De tweede variant die vergeleken is met vijzelbaar bouwen is het traditioneel bouwen van de woning en deze ten tijde van de dijkversterking opvijzelen (zie tabel 11). Het vijzelen is over de gehele levenscyclus gezien duurder dan vijzelbaar bouwen. Dit komt vooral doordat het vijzelen van een huis dat niet vijzelbaar is gemaakt uiteindelijk substantieel duurder is dan het vijzelen van een woning die wel vijzelbaar is. Dit komt vooral omdat er vaak een funderingsverbetering (vloer+balken) moet worden toegepast en omdat de benodigde vijzelvoorzieningen nog aangebracht moeten worden.

Onderdeel	Vijzelbaar bouwen	Bouwen + vijzelen
Realisatiekosten	283.750	260.100
Onderhoudskosten	1.000	1.000
Toekomstige kosten	15.500	105.500
Toekomstige kosten (CW)	4.510	30.695
LCC kosten	316.330	318.866
Winst	+ 2.534	- 2.534
Terugbetalingsperiode	50 jaar	-

Tabel 11 Kosten vijzelbaar bouwen ten opzichte van bouwen op een terp

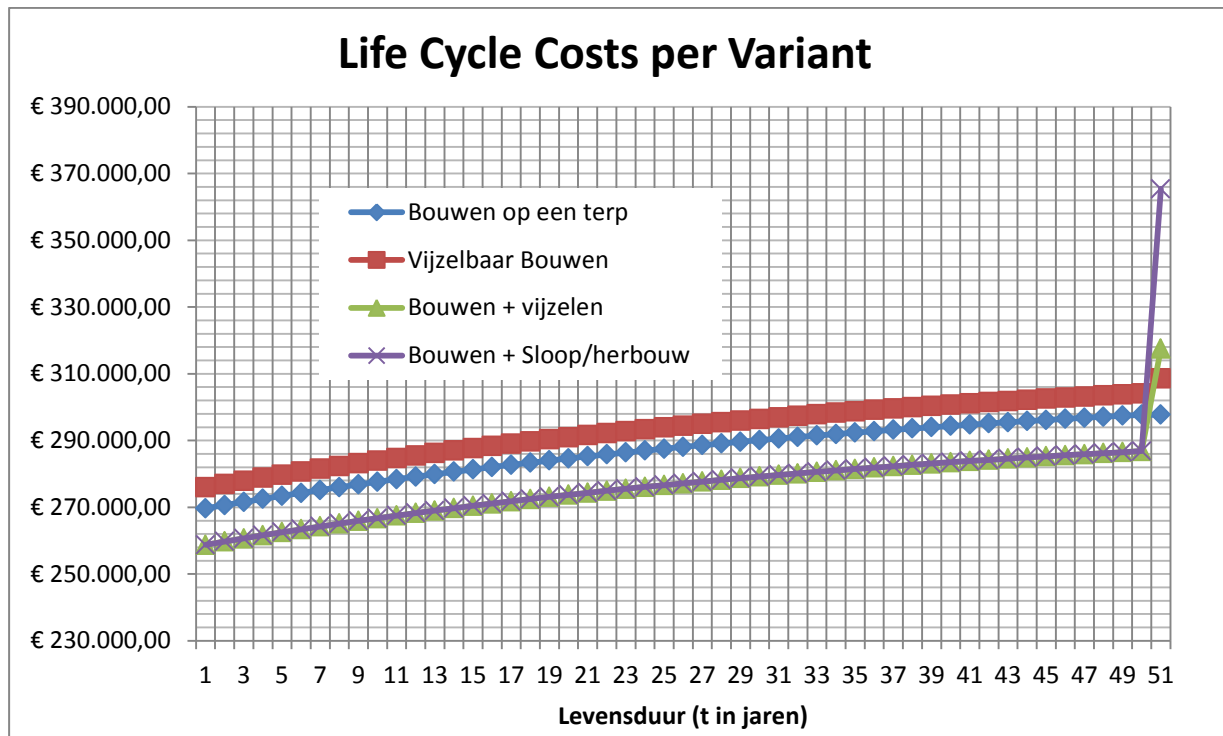
9.3.3 Vergelijking Vijzelbaar bouwen – Bouwen + sloop & herbouw

Als laatste is vijzelbaar bouwen vergeleken met het traditioneel bouwen van de woning en deze ten tijde van de dijkversterking weer slopen en herbouwen (tabel 12). De oplossing sloop en herbouw is over de gehele levensduur aanzienlijk duurder dan vijzelbaar bouwen. De winst die na een periode van 50 jaar gemaakt kan worden bedraagt ongeveer €50.000,-. Het volledig slopen en herbouwen van de woning is duur omdat er een nieuwe woning geplaatst moet worden en er kosten gemaakt moeten worden voor het slopen van het pand.

Onderdeel	Vijzelbaar bouwen	Bouwen + sloop & herbouw
Realisatiekosten	283.750	260.100
Onderhoudskosten	1.000	1.000
Toekomstige kosten	15.500	271.180
Toekomstige kosten (CW)	4.510	78.890
LCC kosten	316.330	367.070
Winst	50.740	-50.740
Terugbetalingsperiode	50 jaar	-

Tabel 12 Kosten vijzelbaar bouwen ten opzichte van bouwen op een terp

In de grafiek op de volgende pagina (grafiek 1) zijn de levensduurkosten per variant uitgezet in de tijd.



Grafiek 1 Levensduurkosten per variant over een periode van 50 jaar

9.4 Conclusie

Naar aanleiding van de LCC analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken;

- Vijzelbaar bouwen is ten tijde van de realisatie relatief de grootste investering (ten opzichte van de andere varianten). Een vijzelbare woning voorzien van telescooppalen is circa €20.000,- duurder dan een traditionele woning;
- De investering die bij realisatie gemaakt wordt om de woning vijzelbaar te maken betaald zich ten tijde van de dijkversterking weer terug door de lage vijzelkosten;
- Vijzelbaar bouwen is over de gehele levensduur gezien aanzienlijk goedkoper dan het bouwen van een traditionele woning en deze ten tijde van de dijkversterking slopen en herbouwen;

De oplossingen die dicht bij vijzelbaar bouwen liggen zijn bouwen op een terp en bouwen en later vijzelen. Het bouwen op een terp is over de gehele levensduur gezien ook een goedkopere methode en zal bij toepassing bij meerdere woningen (bijvoorbeeld bij een dijkversterking) ook een zeer goede en gewenste methode zijn. Echter heeft bouwen op een terp om de volgende redenen nadelen ten opzichte van vijzelbaar bouwen;

- Landschappelijk gezien is bouwen op een terp voor een individuele woning niet altijd een goede oplossing (wel bij het toepassen bij meerdere woningen t.t.v. een dijkversterking);
- Een vijzelbaar pand kan tot iedere gewenste hoogte worden gevijzeld, bij het bouwen op een terp kan de terp over 50 jaar te laag gedimensioneerd zijn.

Het traditioneel bouwen van een woning zal door het Waterschap niet geadviseerd worden bij de realisatie van het pand, het vijzelbaar bouwen of het bouwen op een terp verdiend de voorkeur van het Waterschap. Traditionele bouw is niet wenselijk aangezien de levensduurkosten aanzienlijk hoog zijn. Een niet-vijzelbare woning is niet flexibel en maakt daarom het aanbrengen van een dijkversterking veel duurder. De woning moet namelijk voor relatief grote kosten worden opgevijzeld of volledig worden gesloopt en vervolgens weer worden herbouwd.

10. Conclusie & Advies

In dit hoofdstuk wordt de conclusie van dit afstudeeronderzoek geformuleerd door het beantwoorden van de gestelde hoofdvraag (zie hoofdstuk 1). Ook wordt er een advies gegeven richting Waterschap Rivierenland hoe er om gegaan kan worden met het concept vijzelbaar bouwen.

10.1 Conclusie

De conclusie wordt geformuleerd door een antwoord te geven op de hoofdvraag. Voordat er een antwoord gegeven kan worden op de hoofdvraag worden eerst de verschillende deelvragen beantwoord. Door het beantwoorden van de deelvragen volgt er een conclusie op basis van zowel constructief als kostentechnisch gebied.

10.1.1 Deelvragen

Om tot een antwoord van de hoofdvraag te komen zullen eerst apart de verschillende deelvragen (voortkomend uit de opdracht) worden beantwoord. De eerste deelvraag luidt;

Deelvraag 1

Wat is een oplossing om een nieuw te bouwen pand dusdanig aan te passen dat deze eenvoudig kan worden opgevijzeld/verplaatst?

Er zijn in dit rapport verschillende varianten aangedragen die een verplaatsing van de woning mogelijk maken. Een verplaatsing van de woning kan het best gerealiseerd worden door deze vijzelbaar te maken. Het vijzelbaar maken van de woning zorgt ervoor dat de woning flexibel wordt en dat een dijkversterking altijd kan worden uitgevoerd. Ook bevindt de woning zich altijd boven maaiveld.

Een goede methode om de woning vijzelbaar te maken is de methode 'Telescooppalen'. Deze methode bestaat uit het toepassen van stalen buispalen als funderingspalen onder de woning, die bestaan uit een binnenpaal in een buitenpaal die afzonderlijk van elkaar kunnen bewegen. Deze methode is om de volgende redenen gekozen als een goede methode voor het vijzelbaar maken van een pand;

- De uitvoering van de verplaatsing is relatief gemakkelijk en goedkoop. Ook zijn er na de verplaatsing geen nieuwe constructieonderdelen nodig;
- Deze constructie heeft geen gevolgen voor de uitvoering en indeling/plattegrond van de woning. De woning heeft dezelfde mogelijkheden als een traditionele woning, er is enkel een aanpassing nodig in de fundering van de woning;

Over het algemeen zijn de volgende punten belangrijk bij het zodanig aanpassen van het ontwerp van een woning zodat deze eenvoudig kan worden verplaatst;

- Onderdelen van het proces van het vijzelen van een woning integreren in de constructie, denk hierbij aan opleggingen voor vijzels en gemakkelijk te verlengen palen. Hierdoor worden de kosten en de tijdsduur van de vijzelwerkzaamheden gereduceerd;
- De constructieve onderdelen van de woning dimensioneren op de toekomstige situatie. Denk hierbij aan de krachten op de verlengde palen en het toepassen van een sterke en buigstijve vloer;

- Funderen van de woning op stalen buispalen. Deze kunnen de horizontale krachten ten gevolge van de vervormingen vanuit de grondophoging beter opnemen. Het gebruik van palen is zorgt ervoor dat de woning op de pleistocene laag rust, die weinig tot geen invloed ondervindt van de vervormingen t.g.v. de dijkversterking.

Deelvraag 2

De tweede deelvraag gaat in op de aanpassingen van de omgeving rondom een vijzelbare woning. In Hoofdstuk 8 is ingegaan op de aanpassingen die gedaan moeten worden aan de omgeving van de woning om problemen en zo veel mogelijk werkzaamheden te voorkomen. De tweede deelvraag luidt;

Hoe kan de omgeving rond het pand het best worden aangepast?

Bij aanpassingen aan de omgeving van het pand valt te denken aan het aanpassen van kabels en leidingen en eventuele mogelijkheden tot uitbouw van de woning. Door de volgende maatregelen te treffen worden mogelijke extra werkzaamheden en problemen bij het vijzelen van een woning voorkomen;

- Het gebruik van flexibele leidingen. Hierdoor bezwijken de leidingen minder snel bij het optreden van zettingen;
- Flexibele leidingen kunnen in een lus gelegd worden. Hierdoor is er extra lengte beschikbaar voor het eventueel van de leiding;
- Het toepassen van een (flexibele) mantelbuis waarin zoveel mogelijk kabels en leidingen lopen. Hierdoor hoeven er minder leidingen te worden aangepast bij het vijzelen van de woning;
- De leidingen dienen hoog in de grond te worden aangelegd. Hierdoor kunnen ze gemakkelijk worden opgegraven en worden verlegd in het geval van een verplaatsing;
- Om eventuele uitbouw van de woning mogelijk te maken moet hiervoor ruimte worden vrijgehouden bij het dimensioneren van de funderingsplaat van de woning. Er mogen namelijk geen los gefundeerde delen aanwezig zijn buiten de funderingsplaat van de woning.

Deelvraag 3

Door het aanbrengen van een grondophoging rondom de woning ontstaan er horizontale en verticale vervormingen in de ondergrond. Deze hebben invloed op de fundering van de woning. De derde deelvraag gaat in op de invloed van de vervormingen in de ondergrond op de funderingsconstructie van de woning. De derde deelvraag luidt;

Wat is de invloed van de grondophoging (steunberm) op de funderingsconstructie van het gebouw?

In hoofdstuk 7 is ingegaan op de geotechnische berekeningen die uitgevoerd zijn om de invloed van de grondophoging op de fundering te berekenen. Met behulp van het programma PLAXIS zijn de optredende horizontale krachten en momenten in de paal ten gevolge van de grondophoging voor verschillende situaties berekend. Hierdoor is duidelijk gemaakt wat de gevolgen zijn van verschillende aanpassingen aan de constructie op de optredende krachten en momenten.

De grondophoging heeft de volgende (nadelige) invloeden op de funderingsconstructie van de woning;

- Door aanbreng van extra grond op het maaiveld zal er negatieve kleeft optreden. Dit komt door het extra gewicht en de consolidatie van de slappe grondlagen. De grootte van de negatieve kleeft is onder andere afhankelijk van de paaldiameter, deze is groter wanneer de diameter groter is;

- Door aanbreng van grond op het dijklichaam ontstaan er horizontale verplaatsingen in de ondergrond. Door deze verplaatsingen ontstaan er horizontale krachten en momenten op de palen. Hierdoor zal ook een horizontale verplaatsing optreden van de paal.

Om de negatieve invloed van de grondophoging op de funderingsconstructie te verminderen worden de volgende aanbevelingen gedaan, een onderbouwing hiervan is terug te vinden in hoofdstuk 7;

- Toepassen van een scharnierende oplegging. Hierdoor worden extra momenten in de paal vanuit de vloer gereduceerd;
- De vloer van de woning dimensioneren als een sterke en stijve vloer. De vloer kan hierdoor de krachten tijdens het vijzelen beter opvangen en dit reduceert ook het aantal benodigde palen onder de woning. Dit verkleint ook de kans op schade tijdens het vijzelen;
- De woning op een zo groot mogelijke afstand uit het dijktaalud bouwen. De invloed op de fundering van de horizontale krachten die voortkomen uit de grondverplaatsingen door ophoging van de dijk wordt hiermee verkleind;
- Om de negatieve kleef en de horizontale krachten op de palen te verminderen moet er een zo klein mogelijke paaldiameter worden toegepast (rekening houdend met voldoende draagvermogen);

Deelvraag 4

Het laatste gedeelte van dit onderzoek bevat een kostentechnische afweging van vijzelbaar bouwen ten opzichte van traditioneel bouwen en bouwen op een terp op basis van levensduurkosten. De laatste deelvraag luidt als volgt;

Wat zijn de meerkosten van deze oplossing en is deze oplossing efficiënt betreffende meerjarige kosten? Binnen welke planperiode weegt deze oplossing op tegen bijvoorbeeld het volledig slopen en herbouwen van het pand?

De levensduurkosten van vijzelbaar bouwen zijn bepaald op basis van een LCC-analyse. Op basis van een vergelijking van deze levensduurkosten t.o.v. de levensduurkosten van traditionele bouw + sloop/herbouw, traditionele bouw + vijzelen ten tijde van de dijkversterking en bouwen op een terp kan gezegd worden of vijzelbaar bouwen opweegt tegen deze overige varianten. De volgende conclusies kunnen worden getrokken op basis van de LCC-analyse;

- Op basis van de raming in hoofdstuk 7 kan gezegd worden dat de meerkosten van vijzelbaar bouwen t.o.v. een traditionele woning ten tijde van realisatie circa €20.000,- zijn (bij het toepassen van telescooppalen);
- Vijzelbaar bouwen is efficiënt betreffende meerjarige kosten ten opzichte van traditioneel bouwen omdat de levensduurkosten lager zijn dan het slopen en herbouwen van een traditionele woning of het vijzelen van een traditionele woning ten tijden van een dijkversterking;
- De levensduurkosten van het bouwen op een terp zijn lager dan vijzelbaar bouwen omdat er tijdens realisatie en bij een dijkversterking minder kosten gemaakt hoeven te worden dan wanneer het pand vijzelbaar wordt gemaakt. Dit is echter landschappelijk niet altijd een aantrekkelijke oplossing en het risico bestaat dat de terp te laag gedimensioneerd wordt. Bouwen op een terp is wel zeer aantrekkelijk wanneer er bij een dijkversterking meerdere woningen achter elkaar op een terp worden geplaatst.

10.1.2 Hoofdvraag

Naar aanleiding van de antwoorden op de deelvragen kan de hoofdvraag van dit afstudeeronderzoek worden beantwoord. De hoofdvraag van dit onderzoek is;

Hoe kan er, met inachtneming dat er wordt voldaan aan de technische randvoorwaarden en dat de methode qua kosten en baten opweegt tegen het slopen en herbouwen van het gebouw, vijzelbaar gebouwd worden op de (toekomstige) steunberm van de dijk, zodanig dat de fundering voldoende sterk en stabiel blijft, wanneer er een steunberm(verhoging) wordt toegepast voor het versterken van de dijk?

Er kan vijzelbaar gebouwd worden aan de dijk door het toepassen van een telescoopconstructie waardoor de woning gemakkelijk te vijzelen is. Hierbij wordt voldaan aan de technische randvoorwaarden en is de fundering voldoende sterk en stabiel voor, tijdens en na een dijkversterking door het toepassen van de volgende aspecten;

- Het gebruik van stalen buispalen als funderingspalen. De optredende horizontale kracht en moment in de paal ten gevolge van vervormingen in de ondergrond kunnen hierdoor beter worden opgenomen. De palen dienen altijd gedimensioneerd te worden op extra negatieve kleeft, horizontale krachten en momenten ten gevolge van het ophogen van de dijk;
- Het mogelijk maken van het verlengen van de palen waardoor de woning op nieuwe hoogte kan rusten. Dit is mogelijk door het toepassen van een telescoopconstructie, maar ook andere constructies maken dit mogelijk. Door het gebruik van stalen palen kunnen relatief gemakkelijk aanpassingen worden gedaan aan de paal en de constructie;
- Het toepassen van een sterke en stijve vloer van de woning. Hierdoor kunnen horizontale krachten die op kunnen treden tijdens het vijzelen worden opgenomen. Door een plaat te realiseren waarop de woning staat wordt het vijzelproces vergemakkelijkt en wordt het mogelijk om weinig palen toe te passen, wat kostentechnisch voordelig is.

Het vijzelbaar bouwen kan op basis van levensduurkosten opwegen tegen traditioneel bouwen en ten tijde van de dijkversterking slopen en herbouwen van de woning. Op basis van de volgende punten blijkt vijzelbaar bouwen financieel aantrekkelijk;

- Door de meerkosten van de vijzelbare woning ten opzichte van een traditionele woning laag te houden. Dit kan door het toepassen van een zo laag mogelijk aantal palen en een zo eenvoudig mogelijke vijzelconstructie waarbij weinig aanpassingen aan het pand benodigd zijn;
- Door de uitvoeringskosten van vijzelbaar bouwen ten tijde van de dijkversterking zo laag mogelijk te houden. Dit kan worden gerealiseerd door zo veel mogelijk onderdelen van het vijzelproces te integreren in de constructie. Dit kan worden gedaan door het gebruik van verlengbare palen, het toepassen van een sterke en buigstijve vloer en het aanbrengen van vijzelpunten bij realisatie van de woning.

10.2 Advies Waterschap Rivierenland

Op basis van de conclusies die getrokken zijn als beantwoording op de hoofd- en deelvragen in §10.1 kan er een advies gegeven worden richting Waterschap Rivierenland. In dit advies wordt ingegaan hoe omgegaan kan worden met het concept vijzelbaar bouwen.

Het huidige beleid betreffende bouwen op de steunberm van de dijk betreft een ontheffingsbeleid. Dit wil zeggen dat er voor bouwen binnen de kernzone van de dijk een vergunning is van het waterschap. Er wordt een vergunning verleend op basis van de beleidsregels, dit gebeurt op basis van de volgende kenmerken;

1. Het gebouw mag de uitvoering van een toekomstige dijkversterking niet onmogelijk maken;
2. Er moet te allen tijde doelmatig beheer en onderhoud aan de waterkering kunnen worden uitgevoerd;
3. Er moet altijd boven maaiveld gebouwd worden, mits er aangetoond kan worden dat de werking van de steunberm niet aangetast wordt;
4. De woning mag geen schade ondervinden van een toekomstige dijksterking.

In principe wordt er geen vergunning verleend wanneer er binnen het profiel van vrije ruimte gebouwd wordt. Het concept vijzelbaar bouwen maakt dit echter wel mogelijk en past ook goed binnen het beleid vanwege de volgende punten;

1. De uitvoering van een toekomstige dijkversterking wordt niet onmogelijk gemaakt omdat het gebouw flexibel is;
2. Het beheer en onderhoud aan de waterkering wordt niet gehinderd;
3. Het gebouw bevindt zich altijd boven maaiveld, zowel voor als na een dijkversterking. De woning vormt geen obstakel in de berm;
4. Het aanbrengen van een hoeveelheid grond veroorzaakt geen schade aan de fundering als er bij het construeren van de fundering rekening gehouden wordt met de constructieve adviezen van dit afstudeeronderzoek.

Bij een aanvraag van een vergunning voor het bouwen op de berm van de dijk is het verstandig om eerst de mogelijkheden van het bouwen op een terp te onderzoeken. Deze oplossing blijkt uit de LCC-analyse het meest kostenefficiënt te zijn, zeker wanneer er meerdere woningen achter elkaar op een terp worden geplaatst. Ook is deze beleidstechnisch de beste oplossing. Een enkele woning op een terp bouwen zal echter vooral vanwege landschappelijk oogpunt niet altijd aantrekkelijk zijn. Wanneer er over een grotere lengte een terp wordt aangebracht zal dit landschappelijk geen negatieve invloed hebben.

Wanneer bouwen op een terp niet mogelijk blijkt biedt vijzelbaar bouwen een goede oplossing. Vijzelbaar bouwen weegt hierbij op tegen traditioneel bouwen omdat er bij traditioneel bouwen grote kosten gemaakt moeten worden ten tijde van de dijkversterking. Naast de grote kosten is het maatschappelijk niet altijd gewenst om een woning te slopen en te herbouwen of tegen een hoge prijs op te vijzelen.

Vijzelbaar bouwen vergt een extra investering bij de realisatie van de woning. Deze investering kan echter worden terugverdiend bij de uitvoering van een toekomstige dijkversterking. De lagere kosten van het vijzelen maken vijzelbaar bouwen een goede investering.

VI. Competentie verantwoording

INITIËREN (competentie B.1)	Wat heb je gedaan? Waar is dat terug te vinden in het verslag?
De student levert een Programma van Eisen op: • Dat eventueel gebaseerd is op een stakeholdersanalyse waarbij relevante sociaal-maatschappelijke, milieutechnische en ethische aspecten meegenomen zijn • Waarbij gekeken is naar vergelijkbare projecten in binnen- en buitenland • Dat verschillende typen, realistische en uitvoerbare eisen bevat • Waarvoor draagvlak verworven is	<i>Als conclusie van de analyse zijn er een aantal eisen opgesteld waaraan de oplossing moet voldoen. Hierbij is gelet op de wensen van de bewoners, de wensen/eisen vanuit het Waterschap en de technische mogelijkheden. De verschillende oplossingsmogelijkheden uit de analyse zijn hieraan getoetst. De eisen en de toetsing hieraan zijn terug te vinden in hoofdstuk 4, het analyserapport en het schets- en toetsrapport.</i>
ONTWERPEN (competentie B.2)	
De student levert een aantal oplossingen (varianten) op • die gebaseerd zijn op verschillende concepten • in de vorm van schema's, tekeningen en/of berekeningen • waarbij eisen uit het PvE integraal verwerkt zijn • waarvan hij de keuzes die hij heeft gemaakt bij de oplossingen kan beargumenteren De student maakt een beargumenteerde keuze uit de varianten • waarbij hij de criteria levert op basis waarvan hij de varianten vergelijkt • waarbij hij laat zien dat hij de varianten systematisch en transparant tegen elkaar heeft afgewogen.	<i>Naar aanleiding van de conclusie van de analyse zijn een aantal ideeën uit de analyse verder uitgewerkt. Er zijn vijf schetsontwerpen opgesteld met ontwerpbeschrijving. Deze zijn terug te vinden in hoofdstuk 5 en het schets- en toetsingsrapport.</i> <i>De vijf ontwerpen zijn getoetst aan de hand van een trade-off matrix. Aan de hand van criteria op verschillende vlakken is een score gegeven waarmee de ontwerpen tegen elkaar zijn afgewogen. Dit is terug te vinden in hoofdstuk 6 en in het schets- en toetsrapport.</i>
SPECIFICEREN (competentie B.3)	
De student levert een uitwerking van de gekozen oplossing waarbij • de geschikte rekenmethode of model gebruikt is • de juiste normen en voorschriften t.b.v. de berekening geselecteerd zijn. • en waar, indien mogelijk, de ontwerpsschets naar een technische (2D of 3D) tekening is vertaald.	<i>In overleg met de opdrachtgever is besloten om de oplossing verder geotechnisch uit te werken. Er zijn verschillende plaxis-berekeningen gemaakt om tot een optimalisatie van het ontwerp te komen. Dit is terug te vinden in hoofdstuk 7 en het berekeningsrapport.</i> <i>Daarnaast is er een LCC-analyse gemaakt die een inzicht geeft in de levensduurkosten van de oplossing. De oplossing is hierin afgewogen tegen andere oplossingen. Dit is terug te vinden in hoofdstuk 9 en de LCC-analyse.</i>

PROFESSIONEEL HANDELEN (competentie B.6)	
Uitvoeren van onderzoek	
De student levert een onderzoeksrapport • waarin het probleem is vertaald naar een doelstelling, probleemstelling, hoofd- en deelvragen die bij beantwoording leiden tot een oplossing; • waarin gebruik is gemaakt van voldoende en relevante (internationale) bronnen; • waarin duidelijk is beschreven welke stappen ondernomen zijn om tot het antwoord te komen; • waarin is aangegeven hoe de resultaten van het onderzoek tot het antwoord van de deelvragen en probleemstelling leiden; • waarin een oplossing voorgesteld wordt die geaccepteerd door direct betrokkenen en acceptabel is in de beroepspraktijk; • waarin duidelijk wordt hoe de student het onderzoek heeft aangepakt en wat hij heeft geleerd.	<i>In het plan van aanpak is het probleem gesteld en zijn hierbij hoofd- en deelvragen gesteld. Hierbij is de methode vermeldt hoe het onderzoek uitgevoerd zal worden.(zie ook hoofdstuk 1 van dit rapport)</i> <i>De (tussen)resultaten zijn benoemd in dit rapport, hoofdstuk 4 t/m 9. Hiervan zijn ook aparte rapporten beschikbaar in de bijlagen.</i> <i>De uiteindelijke resultaten, conclusies, aanbevelingen en beantwoording van de hoofd- en deelvragen staan beschreven in hoofdstuk 10.</i>
Functioneren in groepen en organisaties	
• De student werkt effectief samen met betrokkenen om het gestelde doel te realiseren. De student zet zich daarbij actief in om doelgerichte acties te formuleren, planningen te maken, en houdt zich aan gemaakte afspraken. • De student levert een bijdrage om in de samenwerking een goede mix van resultaat- en procesgerichtheid te hanteren. • De student zet zich in om anderen te begrijpen, zichzelf duidelijk uit te drukken en eventuele meningsverschillen effectief te gebruiken/ te overbruggen. • De student neemt initiatief om professionele relaties vorm te geven en te onderhouden.	<i>Binnen Waterschap Rivierenland is niet alleen samengewerkt met de begeleiders maar ook met betrokkenen op het gebied van K&L, geotechniek, vergunningen en beleid. Hierdoor is geprobeerd om de opdracht op zoveel mogelijk gebieden te beschouwen en een breed advies uit te kunnen brengen richting de opdrachtgever. Naast bovenstaande betrokkenen is ook een aantal interviews afgenomen met een ingenieursbureau en een aannemer (zie analyserapport).</i>
Verwoorden en verbeelden van informatie	
• De student schrijft doelgerichte, gestructureerde, compacte en transparante stukken voor docenten en opdrachtgevers. • De student visualiseert informatie mbv tekeningen, tabellen en grafieken volgens de daarvoor geldende normen.	-
Regie over eigen leerproces	
• De student reflecteert effectief op eigen motivatie en studeergedrag, o.a. op basis van feedback van anderen; en is in staat om de eigen positie en koers te bepalen. • De student schakelt tijdig hulp in waar nodig om eigen leerproces effectief aan te sturen. • De student kent eigen ambities en competenties en benut kansen binnen/ buiten de opleiding om het beste uit zichzelf en de studie te halen, en maakt zich daarbij zelfstandig nieuwe kennis eigen.	<i>Er is tweewekelijks overlegd met zowel de bedrijfsbegeleiders als de begeleidende docent. Wanneer dit nodig was zijn er extra overleggen gepland. De feedback die daarin ontvangen is, is meegenomen om het proces waar nodig bij te sturen.</i>

VII. Bibliografie

In dit rapport zijn de onderstaande bronnen gebruikt. De bronnen die gebruikt zijn over het gehele onderzoek zijn vermeld in de desbetreffende rapporten.

1. **mbaggen.** mbaggen. [Online]
<http://home.kpn.nl/mbaggen/Bibliotheek%20Mick%20Baggen/OBJBIB2/OB00447.html>.
2. **maps, google.** *www.google.nl/maps*. [Online]
3. **wielen, Boerderij op.** *www.boerderijopwielen.nl. Verplaatsing boerderij Lent*. [Online]
4. **Goorbergh.** Goorbergh Fundamenteel. *Vijzelen*. [Online] www.goorbergh.nl/vijzelen/vijzelen.aspx.
5. **Rijkswaterstaat.** *Beeldbank*.

VIII. Begrippenlijst

CONTANTE WAARDE - Het bedrag dat op dit moment nodig is om in de toekomst een betaling te kunnen verrichten, waarbij rekening gehouden is met de rente.

DOELMATIG BEHEER EN ONDERHOUD - Het zo eenvoudig mogelijk kunnen uitvoeren van onderhoudswerkzaamheden. Dus door zo min mogelijk kosten, werkzaamheden etc.

DISCONTOVOET - Het rentepercentage waarmee de contante waarde van een bedrag wordt berekend.

FAALMECHANISME – Een opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen van de dijk.

HDPE – *Polyethyleen* – Een flexibel kunststof materiaal waarin flexibele leidingen worden uitgevoerd.

KEUR WATERSCHAP RIVIERENLAND – Het beleid van Waterschap Rivierenland waarin verschillende regels zijn gesteld waarop geen vergunning mag worden verleend voor bepaalde werkzaamheden.

LCC- ANALYSE – Life Cycle Cost analyse, een methode waarbij varianten vergeleken worden door het bepalen van de levensduurkosten. De levensduurkosten omvatten alle kosten die tijdens de levensduur van een object gemaakt moeten worden, zoals onderhoudskosten en realisatiekosten.

LINTBEOUWING – Langgerekte bebouwing, ontstaan langs rivier, dijk of kanaal. Ook wel lineaire bebouwing genoemd.

PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE – Vrij te houden ruimte voor het blijvend kunnen realiseren van de waterkerende functie van een waterkering in de toekomst.

SCHAARDIJK – Rivierdijk die onmiddellijk aan het zomerbed grenst.

SCHELPEVORMING – Na een grondverplaatsing blijft er achter de paal grond 'hangen'. Een kleinere paaldiameter zorgt ervoor dat er minder grond achter de paal blijft hangen.

SPMT - *Self Propelled Modular Transporter* – Een relatief klein voertuig dat wordt ingezet om zeer zware lasten te verplaatsen.

STABILITEITSBERM – Hoeveelheid grond die opgebracht wordt aan de binnenzijde van de dijk om tegendruk te bieden tegen het opdrijven en afschuiven van het dijklichaam.

TRADE OFF MATRIX – Matrix waarin op basis van een aantal eisen verschillende varianten worden getoetst door middel van scores. Aan de hand van deze scores wordt de beste variant gekozen (de variant met de grootste score).

VIJZELEN – Het langzaam omhoog brengen of voortduwen van een voorwerp of constructie.