

# De toepassing van biomimetica op de woningbouw in overstromingsgebieden



## **De toepassing van biomimetica op de woningbouw in overstromingsgebieden**

Deze scriptie is gerealiseerd in het kader van de afstudeeropdracht behorend bij de master Building Engineering aan de faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft.

### **Gegevens Student**

P.P. Schipper  
Studienummer 1158104  
Schipper.PP@gmail.com  
Delft, 8 december 2008

### **Leden van de Afstudeercommissie**

|                          |                                                 |
|--------------------------|-------------------------------------------------|
| Prof.ir. L.A.G. Wagemans | Sectie Gebouwen & Civieltechnische Constructies |
| Ir. S. Pasterkamp        | Sectie Gebouwen & Civieltechnische Constructies |
| Dr.ir. P.C.J. Hoogenboom | Sectie ConstructieMechanica                     |



# Voorwoord

---

Voor u ligt het eindrapport behorende bij het afstudeerwerk: 'De toepassing van biomimetica op de woningbouw in overstromingsgebieden'. Deze pagina zal niet beschreven worden met informatie over de opzet of de resultaten van het onderzoek, hiervoor kunt u terecht op nagenoeg elke volgende pagina.

Liever gebruik ik deze pagina om te herinneren en te bedanken.

Herinneren wil ik de momenten die het afstuderen tot een leerzame en interessante bezigheid maakten. Dankzij de omgang met medestudenten die in dezelfde fase van het studietraject verkeerden is deze fase naast de laatste ook nog eens de meest genoeglijke geweest. Herinneren zal ik mij ook de tig keren dat mijn vader mij mededeelde dat de kraan binnenkort echt eens dicht zou gaan, waarmee hij doelde op de stopzetting van financiële ondersteuning. Het werd toch echt tijd dat ik als ingenieur aan het werk zou gaan.

Bedanken wil ik diegene die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van dit rapport. Allereerst wil ik mijn dank betuigen aan de afstudeercommissie, bestaande uit Prof.ir. L.A.G. Wagemans, Ir. S. Pasterkamp en Dr.ir. P.C.J. Hoogenboom. Door hun kritische begeleiding en sturing ben ik niet alleen tot het eindresultaat gekomen wat nu voor u ligt, tevens hebben zij bijgedragen aan het bijbehorende leerproces. Ook vele andere docenten, binnen en buiten Delft, hebben mij enorm geholpen door hun kennis op het gebied van civiele techniek of biologie te delen.

Daarnaast wil ik graag mijn dank laten blijken aan familie, vrienden en vriendin vanwege de hulp en motivatie die ik de afgelopen periode van hen heb mogen ontvangen. De kraan kan dicht...

Delft,  
December 2008

Patrick Schipper



# Inhoudsopgave

---

|          |                                      |            |
|----------|--------------------------------------|------------|
| -        | <b>Samenvatting</b>                  | <b>vii</b> |
| -        | <b>Summary</b>                       | <b>ix</b>  |
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                     | <b>1</b>   |
| 1.1      | Biomimetica                          | 1          |
| 1.2      | Overstromingen                       | 2          |
| <b>2</b> | <b>Probleembeschrijving</b>          | <b>3</b>   |
| 2.1      | Verklaring onderwerpkeuze            | 3          |
| 2.2      | Hoofdvraag                           | 4          |
| 2.3      | Deelvragen                           | 5          |
| 2.4      | Ontwerpopdracht                      | 6          |
| <b>3</b> | <b>Water en de natuur</b>            | <b>7</b>   |
| 3.1      | Eigenschappen van dieren             | 7          |
| 3.2      | Reacties van dieren op water         | 8          |
| 3.2.1    | Dieren vermijden risicogebieden      | 8          |
| 3.2.2    | Dieren op hooggelegen locatie        | 9          |
| 3.2.3    | Op het maaiveld construerende dieren | 11         |
| 3.2.4    | Ondergronds levende dieren           | 12         |
| 3.2.5    | Aan het water aangepaste dieren      | 13         |
| 3.2.6    | Aan stroming aangepaste dieren       | 14         |
| 3.2.7    | Op het water levende dieren          | 15         |
| 3.3      | Eigenschappen van planten            | 16         |
| 3.4      | Reacties van planten op water        | 16         |
| 3.4.1    | Planten vermijden risicogebieden     | 16         |
| 3.4.2    | Planten op hooggelegen locaties      | 17         |
| 3.4.3    | De vorm van planten                  | 18         |
| 3.4.4    | Drijvende planten                    | 19         |
| 3.4.5    | Onder water levende planten          | 20         |
| 3.4.6    | Aan stroming aangepaste planten      | 21         |
| 3.5      | Reacties van mensen op water         | 22         |
| 3.5.1    | Mensen vermijden risicogebieden      | 22         |

|          |                                              |           |
|----------|----------------------------------------------|-----------|
| 3.5.2    | Construeren op terpen                        | 23        |
| 3.5.3    | Paalwoningen                                 | 24        |
| 3.5.4    | Drijvende woningen                           | 25        |
|          | Referenties                                  | 26        |
| <b>4</b> | <b>Natuur als voorbeeld</b>                  | <b>29</b> |
| 4.1      | Werkwijze beoordeling inspiratiebronnen      | 29        |
| 4.2      | Beoordeling inspiratie door dieren           | 29        |
| 4.2.1    | Dieren vermijden risicogebieden              | 30        |
| 4.2.2    | Dieren op hooggelegen locaties               | 30        |
| 4.2.3    | Op het maaiveld construerende dieren         | 31        |
| 4.2.4    | Ondergronds levende dieren                   | 32        |
| 4.2.5    | Aan het water aangepaste dieren              | 33        |
| 4.2.6    | Aan stroming aangepaste dieren               | 34        |
| 4.2.7    | Op het water levende dieren                  | 35        |
| 4.3      | Beoordeling inspiratie door planten          | 37        |
| 4.3.1    | Planten vermijden risicogebieden             | 37        |
| 4.3.2    | Planten op hooggelegen locaties              | 37        |
| 4.3.3    | De vorm van planten                          | 38        |
| 4.3.4    | Drijvende planten                            | 39        |
| 4.3.5    | Onder water levende planten                  | 40        |
| 4.3.6    | Aan stroming aangepaste planten              | 41        |
| 4.4      | Multicriteria-evaluatie beschermingsmethoden | 42        |
| 4.4.1    | Beoordelingscriteria                         | 42        |
| 4.4.2    | Weegfactoren                                 | 44        |
| 4.4.3    | Concepten                                    | 45        |
| 4.4.4    | Evaluatie                                    | 45        |
| 4.4.5    | Resultaat                                    | 46        |
| 4.5      | Nadere bestudering hoogst scorende varianten | 47        |
|          | Referenties                                  | 48        |
| <b>5</b> | <b>Van inspiratie naar toepassing</b>        | <b>49</b> |
| 5.1      | Eigenschappen bananenblad                    | 49        |
| 5.2      | Openingsmechanisme gevel                     | 51        |
| 5.3      | Multicriteria-evaluatie openingsmechanismen  | 55        |
| 5.3.1    | Beoordelingscriteria                         | 55        |
| 5.3.2    | Evaluatie                                    | 57        |
| 5.3.3    | Resultaat                                    | 58        |
| 5.4      | Conclusie                                    | 59        |
|          | Referenties                                  | 60        |

|          |                                           |               |
|----------|-------------------------------------------|---------------|
| <b>6</b> | <b>Ontwerpcase vloedbestendige woning</b> | <b>61</b>     |
| 6.1      | Eigenschappen vloedbestendige woningen    | 61            |
| 6.2      | Geschikte gebieden                        | 63            |
| 6.3      | Stadsblokken-Meinerswijk te Arnhem        | 64            |
| 6.4      | Situering woningen                        | 67            |
| 6.5      | Technische informatie projectgebied       | 71            |
| 6.5.1    | Belastingen                               | 71            |
| 6.5.2    | Veiligheid                                | 73            |
| 6.5.3    | Overig                                    | 73            |
| 6.6      | Ontwerpeisen vloedbestendige woning       | 74            |
| 6.7      | Evacuatieplan                             | 76            |
| 6.8      | Universele toepassing                     | 78            |
|          | Referenties                               | 79            |
| <b>7</b> | <b>Ontwerp vloedbestendige woning</b>     | <b>81</b>     |
| 7.1      | Afmetingen en indeling                    | 81            |
| 7.2      | Bouwmaterialen                            | 82            |
| 7.3      | Constructie-elementen                     | 84            |
| 7.3.1    | Vloeren en dak                            | 84            |
| 7.3.2    | Kolommen                                  | 85            |
| 7.3.3    | Liggers                                   | 87            |
| 7.3.4    | Fundering                                 | 88            |
| 7.4      | Gevels                                    | 89            |
| 7.4.1    | Beweging                                  | 90            |
| 7.4.2    | Geleiding                                 | 92            |
| 7.5      | Detaillering en afwerking                 | 94            |
| 7.6      | Koppeling van woningen                    | 98            |
| 7.7      | Presentatie woning                        | 99            |
|          | Referenties                               | 110           |
| <b>8</b> | <b>Effecten van het ontwerp</b>           | <b>111</b>    |
| 8.1      | Belastingen                               | 111           |
| 8.2      | Waterberging                              | 113           |
| 8.3      | Rivierwaterstand                          | 115           |
|          | Referenties                               | 117           |
| -        | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>        | <b>119</b>    |
| -        | <b>Figurenlijst</b>                       | <b>121</b>    |
| -        | <b>Bijlagen</b>                           | <b>B1-B77</b> |



# Samenvatting

---

Biomimetica is de wetenschap waarin elementen uit de natuur worden nagebootst met het doel menselijke problemen op te lossen. Evolutionaire ontwikkelingen hebben eraan bijgedragen dat de natuur bestaat uit voornamelijk geoptimaliseerde vormen, structuren en processen.

Biomimetica kan op twee manieren een positieve bijdragen leveren aan menselijke ontwikkeling. Ten eerste kan een eigenschap van de natuur de inspiratie vormen voor een toepassing in onze leefomgeving. Daarnaast kan er ook aan de hand van een gesteld probleem gezocht worden naar een in de natuur voorkomende oplossing.

Deze laatstgenoemde situatie ligt ten grondslag aan dit afstudeeronderzoek. Het gestelde onderzoeksprobleem is het ontwikkelen van een ontwerp voor een woning in een overstromingsgebied. Om de kans op constructieve schade en waterschade te minimaliseren zal het ontwerp van een woning in dergelijke gebieden afwijken van dat van een traditionele woning.

In de eerste fase van dit onderzoek zijn de gedragingen van verschillende elementen in de natuur bij (dreigend) hoogwater vastgesteld. Vervolgens is geanalyseerd of deze natuurlijke gedragingen een interessante bijdrage kunnen leveren aan het ontwerp van een vloedbestendige woning.

Veel elementen in de natuur blijken in staat om zich aan te passen aan de heersende omstandigheden. Door deze eigenschap ook aan een woning mee te geven zou deze beter kunnen functioneren dan de starre traditionele woningen.

Eén van de elementen uit de natuur die interesse heeft opgewekt is het bananenblad. Deze wordt belast door luchtstroming in plaats van door waterstroming en is aangepast aan deze situatie. De structuur van het bananenblad is zodanig dat deze inscheurt bij hoge windsnelheden. Het belaste oppervlak wordt hierdoor verkleind, zodat de totale belasting op het blad afneemt. De kans dat de plant de storm overleeft wordt groter doordat vitale onderdelen als de stengel minder snel zullen beschadigen.

Geanalyseerd is hoe dit concept vertaald kan worden naar een in de woningbouw toe te passen concept. Door de oppervlakte van een gevel te verkleinen zullen de totaal krachten op de constructie afnemen. Een bijkomend voordeel is de lagere stromingsweerstand van de woning bij afnemende geveloppervlaktes. Dit is een voorwaarde om in bepaalde gebieden te mogen bouwen, bijvoorbeeld in de uiterwaarden van rivieren.

Bepaald is tot op welk niveau van detail het bananenblad gekopieerd moet worden om tot de meest optimale toepassing te komen. Bij een exacte imitatie zouden materiaal en structuur volledig nagebootst worden. Een kritische beoordeling van de waarde van het imiteren van de natuur moet bij elke toepassing van biomimetica worden gedaan. In het geval van de te openen gevels blijken alternatieve materialen en openingsmechanismen tot betere eigenschappen van de woning te leiden.

De ontworpen woning beschikt op de begane grondverdieping over lichtgewicht gevels die omhoog kunnen worden geschoven in geval van dreigende hoge waterstanden. Hierdoor transformeert de woning in een paalwoning. De rivier zal bij hoogwater de onderste verdieping benutten voor de doorstroming van het water, iets waar bij de indeling van de woning rekening mee moet worden gehouden. De voornaamste functies van de verdieping zijn het bieden van parkeergelegenheid en opslagruimte.

Om de bruikbaarheid van een dergelijk concept aan te tonen is in de laatste fase van het afstudeeronderzoek een praktische toepassing gepresenteerd in de vorm van een ontwerpcase. Het resultaat is een ontwerp voor een vrijstaande woning in de uiterwaard van de Nederrijn bij Arnhem.

Een consequentie van het bouwen van woningen in een uiterwaard is de toename van de bodemruwheid van het gebied. Het debiet van het uiterwaardengebied neemt hierdoor af. Dit resulteert in een toename van de waterdiepte en de stroomsnelheid van het water in het eigenlijke rivierbed. Om deze effecten te compenseren moeten er elders in het projectgebied waterstandsverlagende ingrepen worden gedaan.

Door woningen met te openen gevels toe te passen kan de aangestroomde oppervlakte met 70% gereduceerd worden. De stijging van het waterpeil in de rivier bedraagt hierdoor nog slechts 40% van de stijging die veroorzaakt zou worden door de bouw van evenveel traditionele woningen.

# Summary

---

Biomimicry is the science that studies the behavior of elements in nature with the intention to copy certain properties. Evolutionary developments are the main cause for the efficient forms, structures and systems that are found in nature.

The way in which biomimicry can be used is twofold. Firstly, a feature of a certain element in nature can inspire to the use in our environment. Secondly, solutions in nature can be searched for when a problem occurs.

The latter situation is used in this thesis. The defined problem is the growing demand for housing in flood areas. To minimize the risk of damage caused by water and by dynamic forces, the design of a house in such an area will be different from the design of a house located somewhere else.

In the first stage of this thesis the behavior of elements in nature is established in case of (threatening) high water. Then it is examined if this behavior can contribute in the design process of the house.

Most elements in nature are able to adapt to their environment. If a flood proof house is able to adapt too, it can be more efficient than traditional houses.

An element in nature that caught attention was the leaf of a banana plant. It is exposed to air current instead of water current. The leaf is adapted to this circumstance. In case of high wind speeds the leaf will tear. This causes no serious damage to the plant thanks to a nervated structure of the leaf. By tearing, the surface of the leaf has become smaller so that the total forces caused by wind decrease. Now the chance of survival of the plant has increased because the risk of snapping of the stalk is reduced.

Afterwards it is analyzed how this idea can be converted into technical elements used for the flood proof house. By decreasing the surface of the facades, the forces at the construction also decrease. Another advantage of a smaller surface of the facade is the decrease of the drag coefficient of the house. This is a condition to build in certain areas like forelands.

Later on it was examined how the leaf should be imitated to achieve an optimal solution. The structure and material of the leaf could be translated to the facade elements. However, after creating more alternatives, it appeared that there are better alternatives to create a facade that can be opened during inundation. Analyzing the value of the result of biomimicry is an important condition for the use of it.

In this case, the outcome of an evaluation showed that it was cheaper and more effective to create facades that slide upwards than facades that tear. During inundation the house is transformed into a stilt house. The water will flow through the first storey of the house. This causes restrictions to the use of that storey; parking and storage are the main functions.

To show the applicability of the concept, a practical case is done in the last stadium of this thesis. The result is a detached house in the foreland of Arnhem.

Building houses in the foreland of a river results in an increase of the areas roughness. This causes a lower discharge of the foreland. Since the inflow of the river does not change, the discharge of the minor bed will increase. The flow velocity and the water level both rise. To compensate the rise of the water level changes have to be made somewhere else in the area.

By opening the facades of the designed houses the loaded surface will decrease by 70 percent. The roughness of the foreland becomes lower. The rise of the water level of the river is now only 40 percent of the rise caused by the same number of traditional built houses.





# 1. Inleiding

---

*In dit hoofdstuk zijn de begrippen biomimetica en overstromingen beschreven. Tezamen vormen zij de achtergrond van het onderwerp van afstuderen. Onderstaande tekst is een samenvatting van de bevindingen uit het literatuuronderzoek. Deze is in bijlage I in zijn volledigheid terug te vinden.*

## 1.1 Biomimetica

Biomimetica is de wetenschap waarin eigenschappen uit de natuur worden gekopieerd om menselijke problemen op te lossen. Men kan aan de hand van een probleem op zoek gaan naar in de natuur voorkomende oplossingen. Andersom kan de natuur ook een inspiratiebron zijn voor een verbetering van een bepaald gebruik in de menselijke wereld, zonder dat er een probleem omschreven was. In dit onderzoek wordt vooral de eerstgenoemde werkwijze toegepast.

De natuur blijkt uit zeer efficiënte vormen, processen en systemen te bestaan. De oorzaak hiervan is het aanpassingsvermogen van organismen aan hun leefomgeving. Evolutie leidt ertoe dat de efficiëntst werkende natuurvormen blijven bestaan.

In het verleden is de natuur al vele malen als inspiratiebron gebruikt, zowel binnen het domein van de civiele techniek als daarbuiten. De laatste twee decennia is de populariteit van biomimetica enorm toegenomen. Dit heeft alles te maken met het toenemende besef dat de mens zorgzamer met zijn leefomgeving om moet gaan.

Het toenemende streven naar duurzaamheid zal er hoogst waarschijnlijk toe leiden dat biomimetica ook in de toekomst een belangrijke rol zal gaan spelen bij het oplossen van vraagstukken. De natuur werkt efficiënt, dus door bepaalde eigenschappen te kopiëren kan tijd en materiaal bespaard worden.

Sceptici brengen naar voren dat niet alle elementen in de natuur geoptimaliseerd zijn. Daarnaast is het eenvoudigweg kopiëren van de natuur niet mogelijk door schaalverschillen. In dit onderzoek zal te allen tijde beoordeeld worden of de oplossingen van de natuur wel optimaal zijn.

Om biomimetica in de toekomst effectief te kunnen toepassen zouden biologen en ingenieurs meer samen moeten werken en in dezelfde taal moeten leren spreken.

## 1.2 Overstromingen

Een overstroming ontstaat indien een grote aanvoer van water niet volledig verwerkt kan worden. De oorzaak kan het bezwijken van een civieltechnische constructie langs een rivier of kustlijn zijn. Ook extreme neerslag kan overlast veroorzaken.

De oorzaken van de grote hoeveelheid water zijn niet of nauwelijks te beïnvloeden. Vaak is een hoge waterstand op zee of in rivieren wel te voorspellen. Meer veiligheid kan worden verkregen door waterkeringen te versterken, dit valt echter buiten de beschouwing van dit afstudeeronderzoek.

De schades die veroorzaakt worden door hoogwater zijn zowel immaterieel als materieel. De eerste categorie omvat vooral de psychologische schade die geleden wordt door de slachtoffers. Ook het feit dat de economie in een getroffen gebied stagneert valt hieronder. Materiële schade omvat de herstellkosten van gebouwen, interieur en civiele werken.

Om de schades aan gebouwen en interieur te voorkomen of te reduceren worden een aantal methoden toegepast. Allereerst de permanente methoden; deze zijn gebaseerd op het verhogen van een gebouw. Dit is het geval bij paalwoningen of bouwen op terpen. Een andere mogelijkheid is het construeren van drijvende woningen die mee bewegen met het stijgende water. Beschouwd moet worden of de bouw rendabel is.

Tijdelijke beschermingsmiddelen kunnen ingezet worden in dreigende situaties. Vaak toegepaste middelen zijn zandzakken of varianten daarop. Deze hebben een kerende of watersturende functie. Ramen en deuren kunnen gebaricadeerd worden met platen om waterindringing te voorkomen.

In de Nederlandse bouwnormen ontbreekt het aan specifieke eisen voor overstromingsgebieden. De American Society of Civil Engineers (ASCE) heeft wel ontwerp-eisen voor dergelijke gebieden opgesteld. Het belangrijkste is de plaats van aansluitingen van gas, elektriciteit et cetera. Daarnaast is het waarborgen van de stabiliteit van paalwoningen in normen beschreven. Tevens zijn ontwerp-belastingen opgenomen in de ASCE standaard. Het betreft statische en dynamische belastingen. Laatstgenoemden worden veroorzaakt door golfslag en stootbelasting door meestromende objecten.

Het onder water lopen van een stuk land kent ook voordelen. Zo kan de biodiversiteit vergroot worden, een vruchtbare laag slib kan aangevoerd worden en het water kan bescherming bieden tijdens conflicten. Indien de negatieve effecten van hoogwater grotendeels voorkomen kunnen worden door de bebouwing aan te passen, dan kan het gecontroleerd onder water laten lopen van een stuk land een interessante optie zijn.

## 2. Probleembeschrijving

---

*In dit hoofdstuk wordt het onderzoeksprobleem beschreven. De hoofdvraag en ondersteunende deelvragen zijn opgesteld. Daarnaast is de afbakening van het onderzoeksterrein opgenomen.*

### 2.1 Verklaring onderwerpkeuze

Hetgeen mijn interesse voor het onderwerp biomimetica heeft opgewekt, is de wisselwerking tussen natuur en techniek. De efficiëntie van de natuur kan naar mijn mening een interessante bijdrage leveren aan de ontwerpproblemen van de mens. Zeker als men duurzaam wilt bouwen moet elke mogelijkheid om materiaal en energie te besparen aangegrepen worden.

Het onderzoeken van de toepassingen van biomimetica zou een te breed onderzoeksveld opleveren. Om een specifiekere onderzoeksvraag te kunnen definiëren is het idee voor een combinatie met woningen in overstromingsgebieden ontstaan.

Ik verwacht dat biomimetica een interessante bijdrage kan leveren aan het probleem van overstromingen; dit vanwege de flexibiliteit die in de natuur terug te vinden is. In tegenstelling tot de mens, die een starre leefomgeving handhaaft, kiest de natuur voor een flexibelere opstelling. Planten en dieren hebben het vermogen zichzelf en de keuze van hun verblijfsplaats aan te passen aan de heersende omstandigheden. Zo zullen dieren zich bij gevaar verder van het maaiveld nestelen of zichzelf op een andere manier beschermen.

## 2.2 Hoofdvraag

In dit afstudeeronderzoek zal biomimetica gebruikt worden om bestaande problemen in overstromingsgebieden op te lossen. Specifiek is het doel een woongebouw te ontwerpen dat bestand is tegen de schades die kunnen ontstaan ten gevolge van overstromingen.

### *Hoofdvraag*

‘Welke inspiratie kan de natuur leveren tijdens het ontwerpen van een vloedbestendige woning?’

### *Afbakening onderzoeksterrein*

Oorzaken van overstromingen, alsmede de reductie van de kans erop, worden niet meegenomen in dit afstudeeronderzoek. Het onderzoek is gericht op het beperken van schades in het geval dat er daadwerkelijk een overstroming optreedt.

Alle in de natuur voorkomende verschijnselen kunnen aangewend worden voor het oplossen van het probleem. Planten en dieren kunnen inspiratie vormen op het gebied van vorm, proces of systeem.

De genoemde ‘mogelijke overstromingsgebieden’ zijn gebieden waar er door het bezwijken van een dijk of een extreme neerslag een overstroming kan ontstaan. Deze gebieden kunnen overal ter wereld voorkomen en zijn in dit rapport niet specifiek gedefinieerd.

## 2.3 Deelvragen

Naast de hoofdvraag zijn er deelvragen opgesteld. Het vooraf beantwoorden van deze deelvragen zal erin resulteren dat er voldoende informatie voorhanden is om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden.

### *Deelvraag 1*

‘Op welke manieren reageren elementen in de natuur op (dreigend) water?’

#### *Doel*

In dit stadium van het onderzoek wordt een overzicht gegeven van de in de natuur voorkomende oplossingen voor het probleem van dreigend water.

### *Deelvraag 2*

‘Welke van de in de natuur voorkomende oplossingen bij dreigend water kunnen een voorbeeld zijn in de woningbouw?’

#### *Doel*

Niet elke gevonden oplossing is even interessant om nader uit te werken. Getoetst moet worden of de natuurlijke oplossingen een basis kunnen vormen voor het gestelde probleem. De (ontwerp) eisen dienen hierbij als leidraad.

### *Deelvraag 3*

‘Hoe kunnen de in de natuur voorkomende oplossingen bij dreigend water vertaald worden naar in de woningbouw toe te passen technische elementen?’

#### *Doel*

De geselecteerde oplossingsmethoden moeten aangepast worden aan het probleem. Vanwege de schaalverschillen tussen de natuurlijke situatie en het menselijke probleem is aandacht vereist voor de omzetting. Zo moet er een keuze worden gemaakt voor onder andere het toe te passen materiaal en de gebruikte constructieve vorm.

## 2.4 Ontwerpcase

Om het afstudeeronderzoek een praktisch karakter te geven wordt na het beantwoorden van de hoofd- en deelvragen aandacht besteed aan een constructieve toepassing. De opgedane kennis zal vertaald worden naar een ontwerp voor een woning in een overstromingsgebied. Het doel van de ontwerpopdracht is het aannemelijk maken van de bruikbaarheid van de gevonden oplossing(en).

Op deze pagina wordt weergegeven welke eisen er gelden voor het ontwerp. Deze eisen hebben reeds tijdens het beantwoorden van de deelvragen een functie. De mate waarin een oplossing aan de ontwerpeisen voldoet geeft een indicatie van de functionaliteit ervan.

Eisen voortvloeiend uit de locatie van de woning worden tijdens het ontwerpstadium gevormd. De locatie zal invloed hebben op onder andere het materiaalgebruik en de belastingen. Om uitsluiting van bepaalde oplossingen te voorkomen wordt tijdens het beantwoorden van de deelvragen nog niet op een specifieke locatie gefocust.

### *Eisen*

Alle in het gebied geldende eisen voor woningbouw gelden ook voor de te ontwerpen woning. Hierbij valt te denken aan eisen betreffende:

- De spanningen en vervormingen ten gevolge van verschillende belastingsgevallen;
- Het binnenklimaat (licht, temperatuur, geluidswaarde);
- De isolatiewaarden van de bouwelementen.

De algemeen geldende eisen zijn aangevuld met expliciete eisen voor vloedbestendige woningen:

- Een voldoende hoog veiligheidsniveau van bewoners moet gewaarborgd zijn. Hiertoe zijn in de ontwerpopdracht gegevens verstrekt over de maximaal toelaatbare kans op optreden van rampen en op het voorkomen van persoonlijke ongevallen.
- Er moet een gestructureerd evacuatieplan aanwezig zijn voor het gebied.
- De constructie moet voldoende sterk zijn om de extreme belastingen, behorende bij waterstanden met een acceptabele overschrijdingskans, op te kunnen nemen.
- Bouwmaterialen die mogelijk in contact komen met water moeten hiertegen bestand zijn. Slijtage of aanslag mag niet optreden.
- Elementen die mogelijk in contact komen met water moeten hiertegen bestand zijn. Hieronder vallen de installaties en aansluitingen voor de nutsvoorzieningen.

## 3. Water en de natuur

---

*In dit hoofdstuk zijn uiteenlopende reacties van verschillende organismen op (dreigend) water gerapporteerd. Het doel van dit hoofdstuk is het beantwoorden van de eerste deelvraag; 'Op welke manieren reageren elementen in de natuur op (dreigend) water?'*

### 3.1 Eigenschappen van dieren

Voordat het gedrag van dieren bestudeerd wordt is het belangrijk de overeenkomsten en de verschillen tussen mens en dier te kennen. De diversiteit in de dierenwereld is zeer groot. Met betrekking tot de omgang met water levert dit dan ook grote verschillen op. Waar bepaalde diersoorten aanraking met water schuwen, kan dit water voor andere soorten juist de primaire leefomgeving vormen.

#### *Overeenkomsten*

Dieren (inclusief de mens) hebben onderstaande eigenschappen gemeen:

- Dieren beschikken over verschillende zintuigen om prikkels uit de omgeving op te vangen.
- Dieren beschikken over hersenen om de prikkels te kunnen vertalen naar een handeling, bijvoorbeeld een beweging.
- Dieren beschikken over spieren om zich te kunnen bewegen.
- Dieren kunnen communiceren en zodoende elkaar waarschuwen bij dreigend gevaar.

#### *Verschillen*

-Een belangrijk verschil tussen mens en dier is het begrip angst. Waar mensen en de hogere apensoorten in staat zijn gevaar te analyseren en te voorspellen, zal een dier pas vluchten op het moment van acuut dreigend gevaar. De oorzaak zit in het verschil in aantal stimulus evaluation checks (SEC's) waarover een organisme beschikt. SEC's zijn beoordelingen van omgevingsprikkel. In totaal zijn er vijf alarmsystemen ontwikkeld. Alleen de mens en hogere apensoorten beschikken over alle vijf de systemen. (Belzung and Philippot 2007)

-Een ander verschil is de manier van kennisoverdracht. Mensen zijn in staat kennis op schrift vast te stellen. Hierdoor is het mogelijk om informatie uit het verleden terug te zoeken. Dit kan een hulpmiddel zijn bij het doen van voorspellingen.

## **3.2 Reacties van dieren op water**

In de volgende subparagrafen worden diersoorten beschreven die over interessante eigenschappen beschikken met het oog op het ontwerp van een vloedbestendige woning.

### **3.2.1 *Dieren vermijden risicogebieden***

De meest voor de hand liggende bescherming tegen overstromingen is het vermijden van risicogebieden. Risicogebieden zijn bijvoorbeeld gebieden die gesitueerd zijn onder de waterspiegel of gebieden in de nabijheid van regelmatig buiten de oevers tredende rivieren.

Ook de mens prefereert uit veiligheidsoverwegingen het liefst een verblijfplaats op hoger gelegen locaties. Echter vanwege de voordelen van de aanwezigheid van water zullen mensen en dieren de grensgebieden tussen water en land toch blijven opzoeken. Het water gebruiken zij bijvoorbeeld om te drinken of om gewassen te verbouwen.

Het vermijden van risicogebieden kan alleen plaatsvinden indien organismen een gebied als mogelijk gevaarlijk kunnen beschouwen. Dit kan gebeuren door sporen van eerdere overstromingen waar te nemen. Voor de mens kunnen opgeslagen gegevens over eerdere overstromingen dienst doen als een aanwijzing voor een eventuele herhaling.

### 3.2.2 Dieren op hooggelegen locaties

Indien mensen en dieren zich toch willen vestigen in gebied met risico tot overstroming dan doen zij er verstandig aan zich verder boven het maaiveld te vestigen. Indien de verblijfsplaats hoger dan het maximale waterniveau is dan zal waterindringing uitblijven.

De verhoging van de verblijfsplaats kan door het organisme zelf gecreëerd zijn. Ook kan de veiligheid worden verkregen door zich op een reeds aanwezige hogere plaats te situeren.

Enkele voorbeelden van dieren die zich vestigen in een reeds bestaand hoog object:

#### *Vogels*

Veel vogelsoorten bouwen een nest in een boom. De hoogte reduceert het gevaar van bedreigingen vanaf het maaiveld. Het gaat hier naast bedreiging door roofdieren ook om bedreiging door water. Ook wanneer vogels niet aan het nestelen zijn blijven ze bij voorkeur enkele meters van de grond.

#### *Eekhoorns*

Eekhoorns (*Sciuridae vulgaris*) bouwen voornamelijk nesten in bomen. Een eekhoorn beschikt over meerdere nesten, zowel om in te overnachten als om jongen in te baren. Vaak worden de nesten voortgebouwd uit verlaten vogelnesten. Het nest van de eekhoorn is ook aan de bovenzijde gesloten.



Fig.3.1: Slangarend en jong in een boomnest



Fig. 3.2: De eekhoorn bij zijn boomnest



**Fig. 3.3: Een orang-oetan in zijn boomnest**



**Fig. 3.4: Een mierennest tegen een boomstam**

### *Orang-oetangs*

De orang-oetang (*Pongo pygmaeus*) verblijft 's nachts in boomnesten. Deze nesten, geconstrueerd uit takken en bladeren, worden elke dag opnieuw gemaakt. Met uitzondering van de jongen slaapt iedere orang-oetang in een apart nest. (Bisby et al. 2008)

De hoogte van de nesten zorgt voor bescherming tegen roofdieren en water. Orang-oetangs zijn aangetrokken tot natte gebieden vanwege het vele fruit wat er groeit. Verblijf op de grond wordt vaak vermeden. (SSC 2007)

### *Mieren*

Mieren bouwen doorgaans hun nesten in de grond. Indien deze te vochtig is, is een mierennest in een holle boom een veel voorkomend alternatief. Tevens zijn mieren in staat een compleet nest aan de buitenzijde van een boom te creëren; door kleine bouwstenen aan elkaar te voegen met in het lichaam aangemaakte hechtstoffen.

### *Overzicht*

Bovengenoemde diersoorten zijn maar een kleine selectie van dieren die hun nest op hoger gelegen plaatsen creëren. Duidelijk is dat zowel vogels, zoogdieren en insecten de voordelen van een hoger gelegen verblijfsplaats inzien. Gevaren van onderaf, waaronder stijgend water, zullen het dier moeilijker of niet bereiken.

### 3.2.3 Op het maaiveld construerende dieren

In plaats van reeds bestaande hoge plaatsen op te zoeken, kunnen dieren er ook voor kiezen om hun verblijfsplaats op het maaiveld te construeren. Om de kans op overlast door water te verkleinen zullen in sommige gevallen de nesten hoger uitgevoerd worden dan strikt noodzakelijk is. Het is ook mogelijk deze verhoging pas te realiseren op het moment dat dit nodig blijkt te zijn.

#### *Kokmeeuwen*

De kokmeeuw (*Larus ridibundus*) bouwt in het broedseizoen zijn nest in de zeer nabije omgeving van open water. Wanneer het nest beschadigd raakt zal dat direct gerepareerd worden. Uit onderzoek van Moore blijkt dat ook de aanraking van de broedplaats met water als een beschadiging wordt gezien. (Moore 1974) Het nest wordt dan opgehoogd met natuurlijke materialen. Indien het water blijft stijgen kan het nest gaan drijven. Omliggende begroeiing helpt het wegdrijven van het nest voorkomen. (Montevecchi 1978)

#### *Zoetwaterkrokodillen*

De vrouwelijke zoetwaterkrokodil (*Crocodylus porosus*) maakt eens per jaar een nest om eieren in te leggen. De bouwmaterialen zijn voornamelijk modder en riet. De locatie van het nest is bij voorkeur niet in de buurt van een fluctuerende waterspiegel. Is dit toch het geval, dan zal het nest zo hoog geconstrueerd worden dat meevoering van de eieren door de waterstroom onwaarschijnlijk wordt. (Thomas 2004)



Fig. 3.5: Het nest van een lachmeeuw



Fig. 3.6: Een zoetwaterkrokodil en haar nest

### 3.2.4 Ondergronds levende dieren

Een andere door dieren toegepaste methode om zichzelf te beschermen tegen gevaar is door zich ondergronds te vestigen. Behalve dieren die zich permanent onder het maaiveld vestigen zijn er ook diersoorten die dit alleen bij dreigend gevaar doen.



Fig. 3.7: Een mol en zijn molshoop

#### *Mol*

Een voorbeeld van een dier dat zich voornamelijk ondergronds bevindt is de mol (*Talpa europaea*). Het zand dat vrijkomt bij het graven van tunnelstelsels is bovengronds waar te nemen. De ingang is op het hoogste punt gecreëerd om de kans op indringing van water te verkleinen. Eventueel kunnen eerder gegraven gangen ook dichtgemaakt worden. Omdat de jongen kwetsbaar zijn wordt het nest waarin zij verblijven op een zo hoog mogelijke positie gemaakt. Om deze reden kunnen molshopen extra verhoogd zijn; we spreken dan van een burcht. (TMS 2006)

#### *Helmkrab*



Fig. 3.8: De helmkrab met zuigbuis

De in de Noordzee voorkomende helmkrab (*Corystes cassivelaunus*) leeft op zandbodems nabij de kustlijn. Bij dreigend gevaar van roofdieren kan de helmkrab zich met behulp van zijn scharen ingraven. Ook bij stijgend water is de helmkrab beter beschermd indien hij zich ingraaft, namelijk tegen meevoering door het stromende water.

Om langere tijd in zijn schuilplaats te kunnen verblijven moet de krab zichzelf van zuurstof kunnen voorzien. Hiervoor heeft hij de beschikking over twee antennes, die samengevoegd een zuigbuis vormen. Hiermee kan zuurstof(rijk water) opgenomen worden. (Horton 2006)

### 3.2.5 Aan het water aangepaste dieren

Niet alleen de keuze van de verblijfsplaats van dieren kan een inspiratie vormen voor het ontwerpen van een vloedbestendige woning. Ook de lichaamsbouw van de dieren kan aangepast zijn aan het leven in en nabij water.

#### *Kraanvogels*

De kraanvogel (*Guru guru*) is een vogelsoort die behoort tot de steltlopers. Zij leven voornamelijk in vochtige graslanden en moerassen. Tijdens de zoektocht naar voedsel in ondiep water komt een steltloper bij voorkeur niet in aanraking met water. Om zijn verenpak droog te houden beschikt hij over steltachtige poten. Aan het uiteinde van deze poten zijn gespreide tenen aanwezig; dit om wegzakken in drassige ondergronden te voorkomen.

In de gehele poot zijn drie gewrichten aanwezig; ter plaatse van het lichaam, de voet en daar tussenin. Deze zijn te vergelijken met respectievelijk het menselijke heupgewricht, de enkel en de knie. Hierdoor kan de kraanvogel zijn lichaam naar de grond brengen, bijvoorbeeld tijdens het rusten of broeden.

#### *Kikkers*

Kikkers en padden behoren tot de klasse amfibieën. Het woord amfibie is ontstaan uit de Griekse taal, waar 'Amphi-bios' letterlijk 'dubbel-levend' betekent. Deze organismen zijn in staat om zowel in het water als op het land te leven.

De bruine kikker (*Rana temporaria*) wordt geboren met kieuwen, maar gaat later over op ademhaling met longen of door de huid. Naast de ademhaling zijn ook de ledematen aangepast om zich zowel op het land als in het water voort te kunnen bewegen.



Fig. 3.9: De jufferkraanvogel in het water



Fig. 3.10: Een zwemmende bruine kikker

### 3.2.6 Aan stroming aangepaste dieren

De vorm van organismen kan in meer of mindere mate aangepast zijn aan stromingen.

#### *Mossel*



Fig. 3.11: De mossel met byssusdraden

De mossel (*Mytilus edulis*) leeft in groepen in de zee. Deze zogenaamde mosselbanken zijn vooral te vinden ter plaatse van harde ondergronden, zoals klei of rotsen. De reden hiervoor is de vereiste verankering aan een vast punt. Deze verankering wordt gerealiseerd door de lijmdraden die de mossel aanmaakt, de zogeheten byssusdraden. De byssusdraden zijn enigszins elastisch en kunnen zich ook aan andere mossels hechten om meevoering te voorkomen.

Een andere eigenschap van de mossel is de gestroomlijnde vorm van de schelp. Door het ontbreken van platte vlakken en hoeken zal het water makkelijker langsstromen. Het optreden van waterwervelingen en erosie wordt hierdoor beperkt.

#### *Vissen*



Fig. 3.12: De Haplochromis piceatus

Fenotipische plasticiteit is het verschijnsel waarbij organismen zich gedurende de levensfase aanpassen aan de heersende omstandigheden. Uit onderzoek door biologen is gebleken dat de in Oost-Afrika voorkomende *Haplochromis piceatus* platter wordt -dus meer gestroomlijnd en sneller- op het moment dat er roofvissen in het water voorkomen. (Witte, Barel et al. 1990)

### 3.2.7 Op het water levende dieren

Dieren die meebewegen met de waterspiegel ondervinden geen hinder van stijgend water.

#### *Schaatsenrijder*

De schaatsenrijder (*Gerris lacustris*) is één van de insecten die zich kunnen voortbewegen over een wateroppervlak. Dit is mogelijk door de aanwezigheid van de oppervlaktespanning van het water. Vanderwaals-krachten zorgen ervoor dat er in het water cohesie optreedt, waardoor er een bepaalde kracht op het oppervlak op kan treden voordat deze doorbroken kan worden. (Song and Sitti 2007)

De schaatsenrijder weet zijn gewicht zo te verdelen over zijn zes poten, dat de optredende krachten opneembaar zijn door de oppervlaktespanning. Doordat de poten aan het uiteinde ervan plat op het water liggen wordt een groter oppervlakte benut.

#### *Wilde eend*

Net als andere watervogels zoals zwanen, meerkoeten en futen, zijn eenden in staat te drijven op het water. De in Nederland meest voorkomende eendensoort is de wilde eend (*Anas platyrhynchos*).

Het drijfvermogen van deze dieren wordt veroorzaakt door de aanwezige lucht in het verenpak. Om te voorkomen dat de veren doordrenkt raken met water, zorgt de eend ervoor dat er een waterdichte vetlaag op de veren aangebracht is.



Fig. 3.13: De schaatsenrijder op het water



Fig. 3.14: Mannelijke en vrouwelijke wilde eend

### 3.3 Eigenschappen van planten

Voordat het gedrag van planten bestudeerd wordt, is het belangrijk enkele eigenschappen van deze organismen te kennen. In deze paragraaf worden de verschillen tussen en de overeenkomsten met de mens opgesomd.

#### *Overeenkomsten*

- Planten zijn net als mensen levende organismen en zijn afhankelijk van factoren als licht, water en zuurstof. Water dient als transportmiddel voor voedingsstoffen. (Kimball 2005)
- Planten kunnen soortgenoten waarschuwen bij dreigend gevaar. (Dicke 1998)

#### *Verschillen*

- Planten beschikken niet over hersenen en kunnen alleen reageren op omstandigheden door de aanwezigheid van genetisch bepaalde eigenschappen.
- Planten kunnen zichzelf, afgezien van groei, niet bewegen.
- Planten kunnen zich niet verplaatsen vanwege de verankering van het wortelstelsel.

### 3.4 Reacties van planten op water

In de hierna volgende subparagrafen worden plantensoorten beschreven die over interessante eigenschappen beschikken met het oog op het ontwerp van een vloedbestendige woning.

#### **3.4.1 Planten vermijden risicogebieden**

De overlevingskans van een plant is afhankelijk van de locatie waar deze groeit. Vocht is benodigd om in leven te blijven, een overschot aan water kan echter schade veroorzaken. (Wong, Barbetti et al. 1984)

In tegenstelling tot mensen en dieren, is een plant niet in staat zijn locatie zelf te bepalen. Gezonde zaden ontkiemen op plaatsen waar de omstandigheden dit toelaten. Hierdoor zullen bepaalde plantensoorten niet voorkomen in te natte of te droge gebieden. Daarnaast kan de mogelijke aanwezigheid van zaden in een bepaald gebied afhankelijk zijn van gebeurtenissen in het verleden. Zo zal een langdurige droogte of overstroming niet alleen bepaalde plantensoorten verwoesten, maar er ook voor zorgen dat er geen zaden achterblijven om op een later tijdstip te ontkiemen.

### 3.4.2 Planten op hooggelegen locaties

Veel planten leven direct op het grondoppervlak om zo met hun wortels voedingsstoffen uit de bodem op te nemen. Water is vereist om de voedingsstoffen door de plant te transporteren. (Kimball 2005)

Een voldoende hoog vochtgehalte binnen het bereik van het wortelstelsel is nodig om als plant in leven te blijven. Een te hoog vochtgehalte kan echter ook voor problemen zorgen; wortel- of stengelrot zal optreden. (Wong, Barbetti et al. 1984)

In vochtige gebieden zijn de overlevingskansen van gevoelige planten groter op hoger gelegen locaties. Dit kunnen aardeheuvels of andere verhogingen zijn.

#### *Mossen*

Door de afwezigheid van wortels zijn mossen in staat op allerlei ondergronden te groeien. Door een fijn stelsel van verankerende vertakkingen, Rhizoiden genaamd, kunnen mossen zich op minder poreuze ondergronden als steen hechten.

#### *Klimop*

Indien planten niet voldoende stijf zijn om rechtop te groeien dan kunnen zij gebruik maken van stabielere plantensoorten zoals bomen. Een voorbeeld hiervan is de klimop (*Hedera helix*). Deze heeft een wortelstelsel in de bodem om voedingsstoffen op te nemen. Daarnaast laat deze klimmende plantensoort hechtwortels groeien om zich vast te zetten aan bijvoorbeeld bomen en muren.



Fig. 3.15: Mos groeiend op een boomstronk



Fig. 3.16: Klimop groeiend tegen een boomstam

### 3.4.3 De vorm van planten

Veel plantensoorten zijn opgebouwd uit een wortelstelsel, één of meerdere stengels, bladeren en bloemen. Het kwetsbaarst zijn de bloemen; deze bevatten de voortplantingsorganen. De bladeren dienen voor de fotosynthese en de afgifte van vocht en afvalstoffen. De stengel dient voor het transport van de voedingsstoffen die door de wortels opgenomen zijn.

Een plant heeft om twee redenen baat bij een lange steel:

- De bladeren van een hogere plant zullen zich minder snel in de schaduw bevinden, iets wat gunstig is voor het verloop van de fotosynthese.
- Door een langere steel zijn bladeren en bloemen verder van de grond verwijderd, waardoor beschadiging door grond dieren of een hoge waterstand minder snel optreedt.

#### *Bomen*

Een voorbeeld van planten met een belangrijke stengelstructuur zijn bomen. Door de meerjarige levensduur kunnen de cellen in de stengel, nu ook wel stam genoemd, grotendeels omgezet worden in houtcellen. Vertakkingen van de stam leiden naar de bladeren. Voeding wordt geabsorbeerd door de wortels. Tevens dienen de wortels ter stabilisatie van de boom.

#### *Mangroven*

De mangrove is een bomensoort die voorkomt in gebieden met een getijde. Het wortelstelsel is deels bovengronds aanwezig. De wortels zorgen voor de stabiliteit van het gewas en kunnen tevens erosie van de grond voorkomen.



Fig. 3.17: De zwarte populier



Fig. 3.18: De rode mangrove

### 3.4.4 Drijvende planten

Op het wateroppervlak voorkomende plantensoorten zullen niet gehinderd worden door hoge waterstanden vanwege het feit dat ze zelf meebewegen met het fluctuerende water.

#### *Waterlelie*

De reuzenwaterlelie (*Victoria amazonica*) is de grootste soort in de familie van de waterlelies. Waterlelies beschikken over drijvende bladeren die verbonden zijn aan een in de ondergrond groeiend wortelstelsel. De stelen van de waterlelie zorgen voor het transport van de voedingsstoffen en het op de plaats houden van de drijvende bladeren.

De groei van de bladeren vindt plaats onder water. Wanneer het blad voldoende groot is bereikt deze het wateroppervlak. De steel moet hiertoe voldoende lang zijn, ook om eventuele fluctuaties van het waterniveau op te kunnen vangen.

#### *Waterhyacint*

De waterhyacint (*Eichhornia crassipes*) is een drijvende plant die geen groei van wortels in de ondergrond behoeft. De voedingsstoffen worden uit het water gehaald.

Het drijfvermogen van de plant ontstaat door de verdikte steelvoet. Deze bolvormige verdikking is grotendeels gevuld met lucht. (Gibbons, Sytsma et al. 1994)



Fig. 3.19: Blad en steel van de reuzenwaterlelie



Fig. 3.20: Bloem en steelvoet van de waterhyacint

### 3.4.5 Onder water levende planten

Vestiging onder de waterspiegel zorgt ervoor dat er geen hinderlijke veranderingen optreden bij een fluctuerend waterpeil. In deze subparagraaf zijn twee onder de waterspiegel levende planten beschreven.



Fig. 3.21: Blaaswier onder water

#### *Blaaswier*

Blaaswier (*Fucus vesiculosus*) is een zeewier en groeit alleen onder water. De aanhechting vindt plaats aan rotsen of stenen. De plant zelf heeft een slappe structuur. Om toch omhoog te reiken om licht op te vangen zijn er met gas gevulde blaasjes in de bladeren aanwezig. Het gasmengsel zal omhoog drijven en houdt hierdoor de plant rechtop. (Gilbert 1984)

#### *Waterpest*

Waterpest (*Elodea*) is een waterplant die geen contact met het wateroppervlak of de bodem hoeft. Waterpest kan overleven door voeding uit het water op te nemen. Toch komt het voor dat de plant zich wortelt in de bodem; dit om wegdrijven te voorkomen. Waterpest beschikt dus over de capaciteit om zich op een voorkeurslocatie te vestigen. (Gibbons, Sytsma et al. 1994)



Fig. 3.22: Waterpest in een aquarium

### 3.4.6 Aan stroming aangepaste planten

Inspiratie voor woningen kan gevonden worden in het gedrag van planten dat veroorzaakt wordt door stromingen. Niet alleen waterstromen, maar ook luchtstromen kunnen leiden tot bepaalde eigenschappen van planten.

#### *Bananenplant*

De bananenplant (*Musa*) groeit in warme landen en kan een hoogte van ruim 8 meter bereiken. De bladeren hebben een maximale lengte van 3,5 meter, waardoor er veel wind opgevangen wordt. De bladstengels zouden bij hoge windbelastingen kunnen bezwijken. De bladeren van de bananenplant zijn echter van een zodanige structuur dat deze inscheuren bij dergelijke windsnelheden. De belaste oppervlakte -en daarmee de windbelasting- worden kleiner en de bladstengel blijft intact. De bladeren kunnen nog steeds hun functie vervullen en de plant blijft in leven. (Australian Government 2008)

#### *Pijlkruid*

Ook in de plantenwereld komt fenotypische plasticiteit voor, het verschijnsel waarbij organismen zich gedurende de levensduur aanpassen aan de heersende omstandigheden. Pijlkruid doet dat door op het land een stijve stengel te ontwikkelen, maar in stromend water meer flexibel te zijn en te drijven. Ook de ontwikkeling van het wortelstelsel is afhankelijk van het gegeven of de omgeving droog of nat is. (Mettler and Gregg 1969)



Fig. 3.23: Ingescheurd blad bij de bananenplant

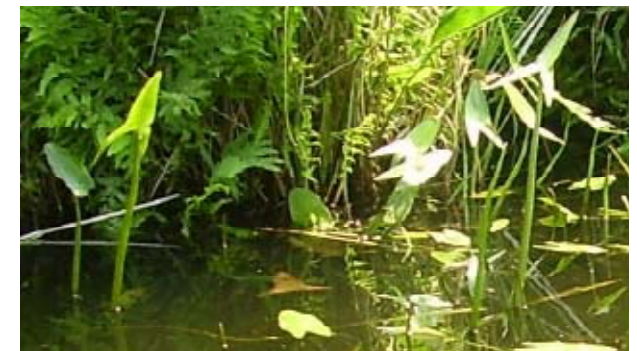


Fig. 3.24: Pijlkruid groeiend in het water

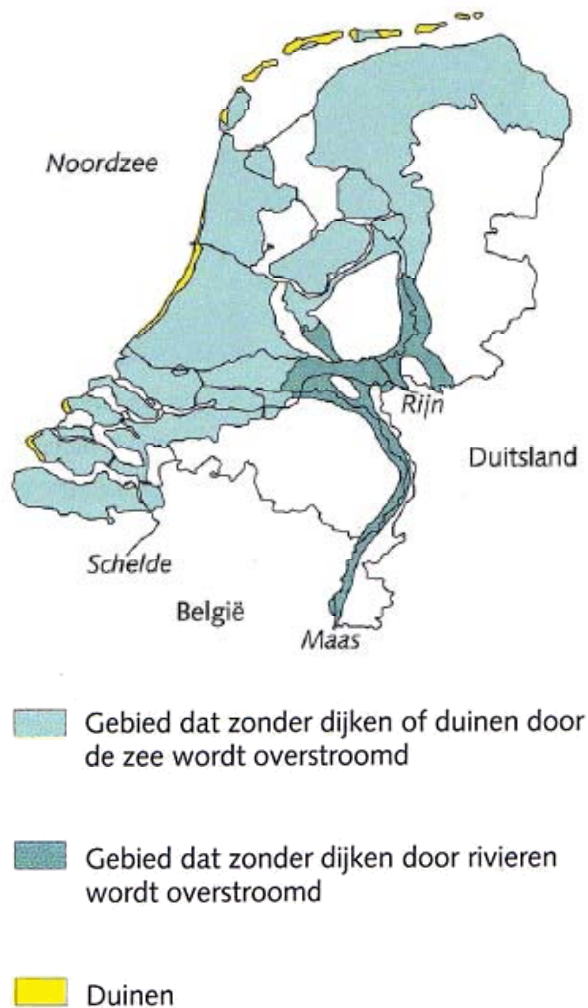


Fig. 3.25: Nederland zonder waterkerende werken

### 3.5 Reacties van mensen op water

Naast de bestudering van het gedrag van planten en dieren, wordt ook het gedrag van de mens met betrekking tot dreigend water beschouwd. In de loop der eeuwen heeft de mens leren omgaan met dit gevaar. Verschillende methoden om schade te beperken zijn ontstaan. Succesvolle methoden zijn het resultaat van de opgedane ervaring en optimalisatie.

In het literatuuronderzoek is een overzicht gegeven van toegepaste methoden. Vaak gaat het om eeuwenoude toepassingen. Door technische ontwikkelingen is het in enkele gevallen mogelijk een verbeterde en modernere variant te ontwikkelen.

#### 3.5.1 Mensen vermijden risicogebieden

Mensen zijn in staat risicovolle gebieden als zodanig te herkennen. Door de opslag van gegevens kan er eenvoudig nagegaan worden welke gebieden er in het verleden onder water gestaan hebben. Toch trekken de gebieden met water in de nabijheid bewoners aan. De aanwezigheid van een rivier of zee kan de transportmogelijkheden positief beïnvloeden, zorgen voor vruchtbare grond en voorzien in de waterbehoefte van bewoners en de industrie.

#### Ontwikkeling

Door het bouwen van civiele werken is de mens zijn omgeving gaan beïnvloeden. Door inpoldering zijn stukken land onder zeespiegelniveau ontstaan. Verschillende kunstwerken moeten ervoor zorgdragen dat de kans op overstromingen acceptabel klein is. Men is met behulp van probabilistische rekenmethoden in staat om een veiligheidsniveau aan een bepaald gebied toe te kennen. Deze kan in de tijd variëren door veranderende omstandigheden. Zo zal bij een hogere zeespiegel de overschrijdingskans van het optreden van een dijkdoorbraak groter worden.

### 3.5.2 Construeren op terpen

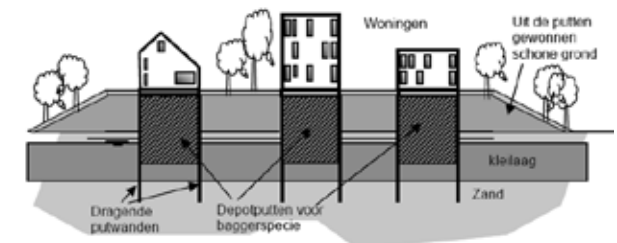
Indien het maaiveld in een bepaald gebied zich onder de maximaal te verwachten waterstand bevindt dan is de kans op waterindringing aanwezig. Een mogelijkheid is het plaatselijk verhogen van het maaiveld. Door kunstmatig grond aan te brengen ontstaan zogenaamde terpen of wierden. Op deze plaatselijke verhogingen kunnen een enkel huis of gehele dorpen gebouwd worden. Voor de komst van de dijken waren terpen een veel voorkomende vorm van bescherming tegen hoogwater. De eerste terpen in Nederland ontstonden in 500 v. Chr., voornamelijk in de noordelijke delen van het land. (Wikipedia 2008)

#### Ontwikkeling

In de bouwwereld wordt getracht steeds duurzamer te werk te gaan. Constructies worden na de levensfase zoveel mogelijk gedemonteerd met scheiding van bouwstoffen. Materialen die niet geschikt zijn voor hergebruik of verwerking tot een ander product, kunnen toegepast worden als ophoogmateriaal in de terpen. Daarnaast heerst er in Nederland een overschot aan baggerspecie. Indien deze specie vervuild is, moet verspreiding van de schadelijke stoffen voorkomen worden, bijvoorbeeld door damwanden te plaatsen.

Waar men vroeger afhankelijk was van de interne wrijvingshoek van het ophoogmateriaal, daar kan men tegenwoordig met behulp van geotextiel het talud van de terpen beïnvloeden. Materiaal kan bespaard worden en het ruimtebeslag is geringer.

Een nadeel van het aanleggen van terpen is de afname van bergingscapaciteit van het gebied. Minder grondoppervlak wordt benut voor de berging van het water, waardoor het gemiddelde waterpeil hoger wordt. Dit veroorzaakt een verplaatsing van het probleem.



**Fig. 3.26: Doorsnede woonterp met gebruikmaking van baggerspecie**

### 3.5.3 Paalwoningen

Het verhogen van de woning kan geschieden door op kolommen te construeren. Een voordeel ten opzichte van het bouwen op terpen, is de grotere bergingscapaciteit van het gebied. Water wordt niet verdrongen door een grondlichaam, maar kan zich over het gehele grondoppervlak verspreiden. Dit sluit meer aan bij de ontwerpstrategieën waarin ruimte voor water wordt nagestreefd.

#### *Ontwikkeling*

Paalwoningen komen op vele plaatsen ter wereld voor. In minder ontwikkelde gebieden, maar ook in vroegere tijden, was niet altijd de grondstof en de kennis voorhanden om hoogwaardige materialen te produceren. In deze situaties zijn houten kolommen de meest toegepaste bouwelementen. Hout is vatbaar voor rot, zeker in combinatie met fluctuerende waterstanden. Ook de sterkte van het materiaal is een beperkende factor in het ontwerp.

Met de komst van vervaardigingstechnieken voor stalen en betonnen kolommen namen de mogelijkheden toe. De materialen zijn duurzaam en hebben bovendien een hogere sterkte. Hierdoor werd het mogelijk meerdere bouwlagen op de kolommen te construeren.

Dankzij technische ontwikkelingen zijn ook beweegbare constructies te bouwen. Gebouwen bevinden zich niet meer permanent, maar enkel ten tijde van extreme waterstanden op een hoger niveau. Enkele systemen die aan de beweging ten grondslag kunnen liggen zijn:

- bewegingen die ontstaan door het gebruik van elektrische energie of organische brandstoffen;
- pneumatische of hydraulische aandrijftechnieken;
- gebruik van contragewichten in combinatie met katrollen.



Fig. 3.27: Eenvoudige paalwoning in Vietnam



Fig. 3.28: Concept voor moderne paalwoningen

### 3.5.4 Drijvende woningen

Drijvende woningen bewegen mee met een fluctuerende waterspiegel, waardoor bij hoogwater de optredende hinder en schade beperkt zal blijven. Het drijvend vermogen kan gecreëerd worden binnen de woning zelf, door luchtkamers en lichte constructiematerialen toe te passen. Een andere mogelijkheid is het gebruik van een drijvend ponton, waarop meerdere woningen geplaatst kunnen worden.

#### Ontwikkeling

Indien men alleen met natuurlijke materialen construeert, is het creëren van een luchtdichte kamer nagenoeg onmogelijk. Het drijvend vermogen moet verkregen worden uit het verschil in massa tussen water en het natuurlijke materiaal. Indien dit verschil niet groot is, is de hoeveelheid benodigd materiaal groot. Daarnaast zijn natuurlijke materialen niet altijd even goed bestand tegen de invloed van het water. Een voorbeeld zijn de drijvende eilanden in de meren van Peru, die voornamelijk bestaan uit plantenresten.

Met de komst van productietechnieken voor beton, staal en kunststoffen, zijn de mogelijkheden toegenomen. Niet-poreuze materialen maken het mogelijk een hoeveelheid lucht in te sluiten, waardoor een groot opdrijvend vermogen gecreëerd kan worden. De lucht kan ook opgenomen worden in een kunststof, waardoor een materiaal ontstaat met een lage soortelijke massa.

Naast de mogelijkheden tot het vervaardigen van drijvende bouwelementen, kunnen de moderne productietechnieken ook bijdragen in het lichter uitvoeren van overige constructie-elementen. Zo kan staal vervangen worden door aluminium en kan cellenbeton worden toegepast in plaats van conventioneel beton. Het totale eigen gewicht van een woning is hierdoor te verkleinen, waardoor minder opdrijvend vermogen vereist is.



Fig. 3.29: Drijvende stad in Peru

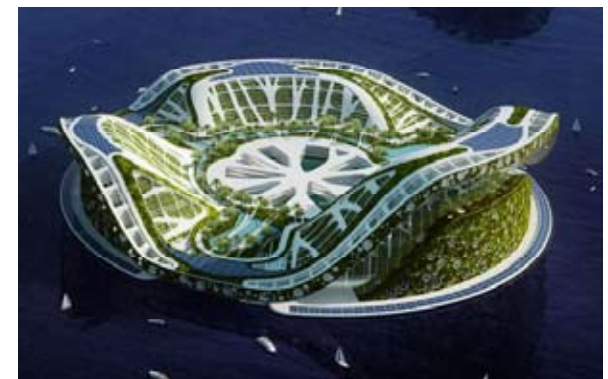


Fig. 3.30: Futuristisch ontwerp drijvende stad

## Referenties

Australian Government (2008). The Biology of Musa L. (banana). D. o. H. a. Ageing.

Belzung, C. and P. Philippot (2007). "Anxiety from a Phylogenetic Perspective: Is there a Qualitative Difference between Human and Animal Anxiety?" *Neural Plasticity* 2007: 17.

Bisby et al. (2008). "Pongo pygmaeus." Retrieved 20-05-2008, from [http://zipcodezoo.com/Animals/P/Pongo\\_pygmaeus.asp](http://zipcodezoo.com/Animals/P/Pongo_pygmaeus.asp).

Dicke, M. (1998). SOS-signalen van planten. *Natuur & Techniek*. 66: 58-67.

Gibbons, M. V., M. D. Sytsma, et al. (1994). A Citizen's Manual for Developing Integrated Aquatic Vegetation Management Plans. D. o. Ecology. Washington.

Gilbert, R. (1984). "The Movement of Gravel by the Alga *Fucus Vesiculosus* (L.) on an Arctic Intertidal Flat." *Journal of Sedimentary Petrology* 54(2): 463-468.

Horton, A. (2006). "Crabs of the seashore of the british isles." from <http://www.glaucus.org.uk/CRAB SX.htm>.

Kimball, J. W. (2005). "Transport of Water and Minerals in Plants." from <http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/X/Xylem.html>.

Mettler, L. E. and T. G. Gregg (1969). *Population Genetics and Evolution*, Prentice-Hall.

Montevecchi, W. A. (1978). "Nest Site Selection and Its Survival Value Among Laughing Gulls." *Behavioral Ecology and Sociobiology*(4): 19.

Moore, C. L. (1974). *Nest repain in laughing gulls*. Newark, Institute of animal behavior, Rutgers Univ., Newark: 4.

Schipper P.P., Interview with Dhr Prof.dr. J.J.M. van Alphen, Université de Rennes, Leiden University, Section Animal Ecology (Leiden, 21 May 2008).

Schipper P.P., Interview with Dhr Dr. F. Witte, Leiden University, Section Integrative Zoology (Delft, 22 May 2008).

Song, Y. S. and M. Sitti (2007). "Surface-Tension-Driven Biologically Inspired Water Strider Robots: Theory and Experiments." Transactions on robotics 23(3): 12.

SSC. (2007). "Pongo pygmaeus – Endangered." from <http://www.iucnredlist.org/search/details.php/17975/summ>.

Thomas, A. (2004). "Crocs get it on." from <http://www.abc.net.au/science/scribblygum/january2004/>.

TMS. (2006). "Fact Sheet Mole *Talpa europaea*." from <http://www.abdn.ac.uk/mammal/mole.shtml>.

UFM. (2008). "Urban Flood Management Dordrecht", from <http://www.traverse.nl/sharepointsite.com/Traverse/Platforms/Leven%20met%20Water/UFM/home.aspx>.

Witte, F., C. D. N. Barel, et al. (1990). "Phenotypic plasticity of anatomical structures and its eco-morphological significance." Netherlands Journal of Zoology 40: 279-298.

Wong, D., M. Barbetti, et al. (1984). "Effects of soil temperature and moisture on the pathogenicity of fungi associated with root rot of subterranean clover." Australian Journal of Agricultural Research 35(5): 675-684.



## 4. Natuur als voorbeeld

---

*In dit hoofdstuk zijn de gedragingen van elementen in de natuur bij dreigend water geanalyseerd. Bepaald wordt of de door de natuur toegepaste technieken ook van waarde zullen zijn in het ontwerp van een woning in overstromingsgebieden. Het doel van dit hoofdstuk is het beantwoorden van de tweede deelvraag; 'Welke van de in de natuur voorkomende oplossingen bij dreigend water kunnen een voorbeeld zijn in de woningbouw?'*

### 4.1 Werkwijze beoordeling inspiratiebronnen

In de volgende paragraaf zullen de gedragingen van dieren kort herhaald worden, waarna de relevante eigenschappen opgesomd worden. De hieruit volgende concepten worden vervolgens beoordeeld op haalbaarheid en effectiviteit. Tevens wordt beoordeeld of de concepten interessant zijn voor het verdere verloop van dit afstudeeronderzoek. Het hoofddoel is het ontwerpen van een vloedbestendige woning. Bepaalde methoden zijn mogelijk al toegepast of vallen buiten het onderzoeksgebied van dit afstudeerwerk.

### 4.2 Beoordeling inspiratie door dieren

In de volgende subparagrafen worden de door dieren geleverde inspiraties geanalyseerd. De subparagraaf nummering komt overeen met de nummering in paragraaf 3.2, waar de eigenschappen van de verschillende dieren beschreven zijn.

#### **4.2.1 Dieren vermijden risicogebieden**

Indien risicogebieden worden vermeden als vestigingslocatie is de kans op overlast door overstromingen geringer. Veilige gebieden zijn over het algemeen gebieden boven de waterspiegel, gebergten en gebieden op enige afstand van rivieren. De risicogebieden, vaak een kuststreek of een deltagebied, trekken echter bewoners aan vanwege de voordelen van het aanwezige water.

*Inspiratie:*

-Vermijden risicogebieden

*Beoordeling:*

Hoewel het vermijden van risicogebieden zeer effectief is ter preventie van schade door overstromingen, is deze methode niet relevant voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag. Er is geen aanpassing aan het ontwerp van de woningen benodigd. Om te beoordelen hoe rendabel en betaalbaar de verschillende varianten in verhouding zijn, wordt deze methoden echter wel meegenomen.

#### **4.2.2 Dieren op hooggelegen locaties**

In overstromingsgebieden is het raadzaam zich verder van het maaiveld te vestigen. Dieren doen dit door hun nesten in bomen te construeren. Voor mensen is het echter vrijwel onmogelijk om een natuurlijke verhoging in de vorm van een boom te gebruiken als basis voor een woning. De afhankelijkheid van de levensduur van een levend organisme is een nadeel, alsmede de beschikbaarheid van het aantal geschikte mogelijkheden.

Om in overstromingsgebieden toch verhoogd en veiliger te kunnen wonen, is het construeren op woonheuvels of terpen een mogelijkheid.

*Inspiratie:*

-Construeren op terpen

*Beoordeling:*

De woning zelf behoeft geen specifieke aanpassingen en valt zodoende buiten het doel van dit onderzoek. Daarnaast is het wonen op terpen een reeds toegepast concept.

### 4.2.3 Op het maaiveld construerende dieren

Om het begane grondniveau van een woning permanent te verhogen, zal er onder de vloer een constructie benodigd zijn.

In de nesten van watervogels of de zoetwaterkrokodil heeft de onderbouw van de constructie geen andere functie dan een opbouwende. De vorm van het nest is kegelvormig, wat zorgt voor een gunstige krachtsafdracht en stabiliteit.

In het specifieke geval van het nest van de lachmeeuw kan het bouwwerk opdrijven. Het onderste deel van het nest komt onder water te staan, dit zorgt voor het drijfvermogen. Indien nodig wordt het nest verhoogd om het bovenste deel ervan droog te houden. Indien het nest tussen graspollen is geconstrueerd zal dit zijdelingse verplaatsingen door stromingen helpen voorkomen.

#### *Inspiraties:*

- Een (taps toelopende) constructie onder het vloerniveau
- Opdrijvend vermogen creëren in de onderste bouwlaag
- Drijvende constructie insluiten tussen kolommen
- Mogelijkheid tot uitbreiding van de woning aan de bovenzijde

#### *Beoordeling:*

Uit de vorm van dierlijke nesten zou een constructievorm afgeleid kunnen worden. Het niet benutten van de onderbouw zorgt voor een minder efficiënt gebruik van de ruimte.

Het creëren van een opdrijvend vermogen in de onderste bouwlaag zorgt voor een nuttig gebruik van de ruimte. Wel moet de onderbouw zodanig uitgevoerd zijn dat het water buiten wordt gehouden. Door de benodigde elementen voor stabilisatie en de bevestiging van de flexibele aansluitingen lopen de kosten van deze variant hoog op.

De stabilisatie van de drijvende constructie kan gewaarborgd worden door deze te plaatsen tussen kolommen. Horizontale translaties en verdraaiingen van de constructie worden verhinderd.

De mogelijkheid om woningen aan de bovenzijde uit te breiden kan een voordeel zijn wanneer de onderste verdiepingen hun functie niet meer kunnen vervullen door de aanwezigheid van hoogwater. Goederen en eventueel personen kunnen beschermd worden door de tijdelijke opbouw. De opbouw vergt echter veel arbeid, iets wat in een crisisperiode ongewenst is.

#### **4.2.4 Ondergronds levende dieren**

Bij een overstroming stroomt het water over het maaiveld waardoor obstakels die hierop gevestigd zijn beschadigd kunnen raken. Indien mensen zich net als enkele diersoorten ondergronds vestigen dan bevinden zij zich niet meer in het stroomgebied.

Een mogelijkheid is tijdelijke ondergrondse vestiging in geval van hoge waterstanden, net zoals de helmkrab dat doet. In het geval van een woning zou deze moeten kunnen zakken in een reeds aanwezige uitsparing in de grond.

##### *Inspiraties:*

- Permanente ondergrondse vestiging
- Tijdelijke ondergrondse vestiging

##### *Beoordeling:*

Het permanent onder de grond wonen, zoals sommige dieren dat doen, is voor mensen ongebruikelijk. Het vestigen onder het maaiveld kan schade door stromingen voorkomen, het gevaar van indringen van water is echter toegenomen. Daarnaast draagt het gebrek aan daglicht bij aan een onveilig gevoel in geval van ondergrondse vestiging.

Bij tijdelijke ondergrondse vestiging is het ongemak van de afwezigheid van daglicht onder normale omstandigheden niet aanwezig. Wel moet de woning zodanig uitgevoerd zijn dat indringing door water onmogelijk is. De toegang tot de woning moet zo uitgevoerd zijn dat deze te allen tijde boven de waterspiegel is gevestigd. Daarnaast moeten de aansluitingen van de woning flexibel zijn, om met de zakking mee te kunnen bewegen. Deze variant is duur in de uitvoering.

#### **4.2.5 Aan het water aangepaste dieren**

Steltlopers beschikken over lange poten om de rest van hun lichaam droog te houden bij verplaatsing in ondiep water. Vergelijkbaar kan een woning op kolommen worden geplaatst om zo boven de waterspiegel te blijven. Dit principe wordt wereldwijd toegepast in overstromingsgebieden.

De kraanvogel beschikt over drie gewrichten in de poot waardoor hij in staat is om zijn lichaam naar de grond te brengen. Voor woningen kan dit inspireren tot beweegbare kolommen. Hiermee kan er een tijdelijke elevatie in geval van dreigend water gerealiseerd worden.

Het aanpassingsvermogen van amfibieën aan zowel natte als droge omgevingen toont de flexibiliteit van de natuur. Tijdens het onderzoek zijn er echter geen specifieke eigenschappen van bijvoorbeeld kikkers gevonden die een concrete vertaling naar het ontwerp van de woning zou kunnen betekenen. Het aanpassingsvermogen van de kikker is vooral te danken aan de ademhalingsorganen. Deze vormen geen directe inspiratie voor het ontwerp van een woning.

##### *Inspiraties:*

- Construeren op verticale kolommen
- Construeren op beweegbare kolommen

##### *Beoordeling:*

Het construeren van een woning op kolommen is vergelijkbaar met de verhoogde constructie die beschreven is in paragraaf 4.2.3. Indien er gebruik wordt gemaakt van alleen verticale kolommen dan moeten deze belastbaar zijn op buiging. De dimensionering van de vloer hangt af van het aantal ondersteunende kolommen. De ruimte onder de woning kan, indien deze kolomvrij is uitgevoerd, gebruikt worden als parkeerplaats. De verhoogde woningen hebben invloed op het straatbeeld en worden mogelijk als onesthetisch beschouwd.

Bij beweegbare woningen bevindt de ingang zich onder normale omstandigheden op maaiveldniveau. De woning kan op verschillende manieren omhoog gebracht worden. Zwenkende of uitschuifbare kolommen zijn enkele opties. Om de zwaartekracht te overwinnen is er energie benodigd.

#### **4.2.6 Aan stroming aangepaste dieren**

De mossel kan op een aantal manieren inspiratie vormen voor het ontwerp van een vloedbestendige woning. De gestroomlijnde vorm van mosselen of andere schelpen kan inspireren tot een gunstige vorm van de woning.

Ook de verankering met byssusdraden is interessant. Woningen kunnen met trekkabels verankerd worden aan een vaste ondergrond of andere woningen. Zo wordt de kans op meevoering in de stroom gereduceerd.

Een andere relevante eigenschap van de mossel is het vermogen om de schelp geheel waterdicht af te sluiten. Wanneer dit mechanisme nader bestudeerd wordt zou het toegepast kunnen worden om de te openen delen van de woning waterdicht af te sluiten.

##### *Inspiraties:*

- Gestroomlijnde vorm van de woning
- Verankering door middel van trekkabels
- Waterdicht sluitmechanisme

##### *Beoordeling:*

Een woning met gestroomlijnde vormen biedt betere bescherming tegen stroming dan een woning met hoekige vormen. De bouwkosten moeten echter wel in beschouwing worden genomen, deze zullen hoger uitvallen vanwege het ontbreken van repeterende en vlakke elementen. Ook de minder efficiënte indeling van een vloeiend vormgegeven gebouw is nadelig.

De bevestiging met byssusdraden is enigszins elastisch, zoals vele vormen van bevestiging in de natuur. Voor de toepassing in de woningbouw zou dit minder geschikt zijn. Translaties van enkele centimeters zijn niet acceptabel vanwege de schades die op kunnen treden aan het interieur.

Het sluitmechanisme gebaseerd op een schelp kan interessant zijn voor de detaillering van de woning. Het zou een onderdeel kunnen vormen van het uiteindelijke ontwerp.

#### 4.2.7 Op het water levende dieren

Dieren meebewegend met de waterspiegel ondervinden geen hinder van de fluctuaties. Ditzelfde geldt voor woningen indien er een aantal extra voorzieningen zijn getroffen.

De woning moet een drijvend vermogen hebben. Dit kan gerealiseerd worden door een hoeveelheid lucht in de constructie op te nemen, zoals watervogels dit doen in hun verenpak. Ook andere materialen zijn geschikt, zolang de soortelijke massa ervan lager is dan die van water. Een voorbeeld hiervan is het drijvende nest van een lachmeeuw, dat grotendeels uit takken bestaat.

Een schaatsenrijder maakt gebruik van de oppervlaktespanning om niet in het water te zakken. Om te bepalen wat het maximale drijfvermogen per oppervlakte is, wordt de achterliggende theorie bestudeerd.

*Inspiraties:*

- Drijfvermogen door lucht of lichtgewicht materialen
- Drijfvermogen door oppervlaktespanning

*Beoordeling:*

Nader onderzoek naar lichtgewicht materialen kan een interessante bijdrage leveren aan het ontwerp van drijvende woningen. Een vereist onderdeel van het ontwerp zijn stabiliserende elementen en flexibele aansluitingen.

Om te beoordelen hoe realistisch het is om drijfvermogen voor de woning te creëren door gebruik te maken van de oppervlaktespanning van water, is het effect nader onderzocht.

In figuur 4.1 is het principe van een tweedimensionaal element in een vloeistof weergegeven. Onder invloed van de Vanderwaalskrachten wordt het wateroppervlak vervormd in plaats van doorbroken. De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van onder andere de soort vloeistof, de temperatuur ervan, het materiaal van het staafvormige element en de onderlinge afstand van de elementen. (Song and Sitti 2007)

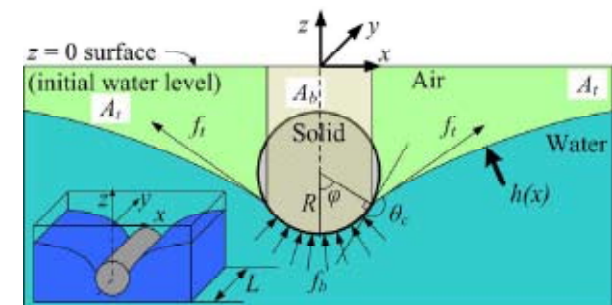


Fig. 4.1: 2D-model van een staaf in vloeistof

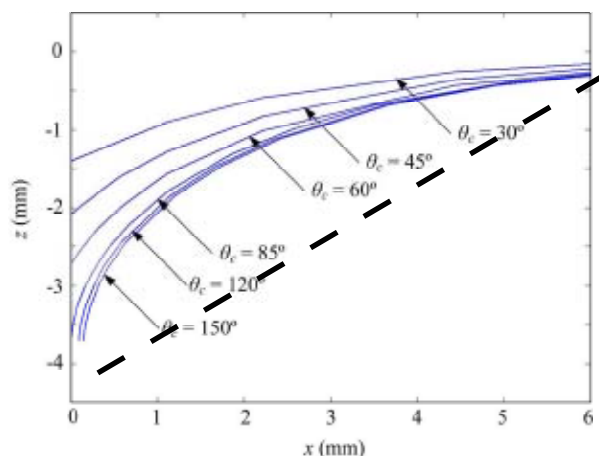


Fig. 4.2: De vorm van het wateroppervlak

In figuur 4.2 is de vorm van het wateroppervlak te zien voor verschillende hoeken  $\theta_c$ . Deze contacthoek is ook afhankelijk van materiaal en vloeistofeigenschappen. Ongeacht deze hoek kan gesteld worden dat 6 mm naast de kern van de staaf het waterniveau weer gelijk is aan het oorspronkelijke peil. Indien dergelijke staafelementen parallel aan elkaar geplaatst worden dan moet de onderlinge afstand  $2 \times 6 = 12$  mm bedragen om elkaars drijfvermogen niet te beïnvloeden. Uit nader onderzoek zou kunnen blijken dat een kleinere onderlinge afstand tot een groter totaal drijfvermogen zou leiden. Als er daarnaast ook haaks georiënteerde staafelementen zijn opgenomen zal er een bepaald optimum aanwezig zijn.

Wat tevens af te lezen valt uit figuur 4.2 is een maximale waarde op de z-as van 4 mm. Zouden we de onderste lijn uit figuur 4.2 schematiseren als rechte lijn, lopend van de coördinaten (0,-4) tot (6,0), dan zou de gemiddelde diepte z van het wateroppervlak 2 mm bedragen. Dit houdt in dat onder de meest gunstige omstandigheden de inhoud van de luchtlaag (het bovenste gebied in figuur 4.1) per vierkante meter maximaal  $2 \times 1000 \times 1000 = 2.000.000$  mm<sup>2</sup> bedraagt. Dit komt overeen met 2 liter lucht per vierkante meter, oftewel 20 N/m<sup>2</sup> draagvermogen.

Dit draagvermogen is zo gering dat een toepassing ervan onder een tot wonen bestemde constructie niet reëel is. Ook zouden de productie en bevestiging van de staafvormige elementen buitenproportioneel kostbaar zijn.

### **4.3 Beoordeling inspiratie door planten**

In de volgende subparagrafen worden de door planten geleverde inspiraties geanalyseerd. De subparagraaf nummering komt overeen met de nummering in paragraaf 3.4, waar de eigenschappen van de verschillende planten beschreven zijn.

#### **4.3.1 *Planten vermijden risicogebieden***

Het vermijden van risicogebieden is zeer effectief ter preventie van schade door overstromingen. Deze methode is echter niet relevant voor het beantwoorden van de gestelde onderzoeksvraag. Het doel is namelijk het ontwerpen van een woning in een gebied waar de kans op overstromingen aanwezig is.

#### **4.3.2 *Planten op hooggelegen locaties***

Ook in natte gebieden zullen planten het meest voorkomen op gunstige plaatsen. Is de plant niet goed bestand tegen veel vocht, dan kan deze groeien tegen een andere plant in plaats van op de verzadigde grond. Voorbeelden zijn mossen en de klimop.

Er is geen directe inspiratie voor de woning - zoals ook in paragraaf 4.2.2, 'Dieren op hooggelegen locaties' beschreven is - behalve het construeren op terpen.

#### **4.3.3 De vorm van planten**

De vorm van een plant kan inspiratie vormen voor een boven het maaiveld geplaatste woning. De steel van planten brengt de kwetsbare delen omhoog, iets wat bij woningen door één of meerdere kolommen bereikt kan worden.

Door nadere bestudering van planten kan er meer geleerd worden over de stabiliteit hiervan. De vertakkingen van de stam zorgen voor een evenredige verdeling van het gewicht. Ook onder speciale omstandigheden, bijvoorbeeld na beschadiging, zijn planten nog in staat om zich te corrigeren en verder te groeien.

##### *Inspiraties:*

- Het plaatsen van de constructie op kolommen
- Het imiteren van de wortelstructuur

##### *Beoordeling:*

Het principe van het creëren van een afstand tussen de woning en het maaiveld kwam al eerder naar voren tijdens de analyse van het nestgedrag van dieren. Deze manier van construeren is effectief in de bestrijding van waterschade. Rekening moet worden gehouden met hogere horizontale belastingen ten gevolge van de wind. Ook de esthetische waarde van een verhoogde woning moet een plaats krijgen in de beoordeling.

Het imiteren van de wortelstructuur van planten kan een woning meer stabiliteit verschaffen. Ondergrondse wortelstelsels zijn minder eenvoudig te kopiëren vanwege de beperkte mogelijkheden om krachtsafdragende elementen onder een hoek in de grond te plaatsen. Bovengrondse wortelstelsels, zoals die bij mangroven voorkomen, kunnen inspireren op het gebied van de optimale hoek en het aantal stabiliserende elementen.

#### **4.3.4 Drijvende planten**

Planten die meebewegen met de fluctuerende waterspiegel ondervinden geen hinder van wisselende waterstanden. Wel is voor gewortelde planten een maximale stijging mogelijk vanwege de steellengte. Dit is vergelijkbaar met de aansluitingen in woningen, die ook in lengte zullen moeten kunnen veranderen.

Een andere mogelijkheid is een vrij drijvende eenheid, zoals de waterhyacint ook is. Er zijn geen aansluitingen naar vaste grond, waardoor het drijvend voorwerp zonder aansluitingen moet kunnen functioneren.

##### *Inspiraties:*

- Drijvende constructie met vaste locatie
- Drijvende constructie zonder vaste locatie

##### *Beoordeling:*

Voor de toepassing van drijvende woningen is voldoende open water benodigd. De vereiste hoeveelheid onderhoud is groter dan die van woningen op het vaste land. Indien de woningen vaste ligplaatsen hebben kunnen er aansluitingen gerealiseerd worden, echter wel flexibel.

Indien een drijvende constructie geen vaste ligplaats heeft zijn vaste aansluitingen niet mogelijk. Voorraden water en elektriciteit moeten opgeslagen worden. Door draadloze technieken is communicatie met het vaste land steeds eenvoudiger geworden.

#### **4.3.5 Onder water levende planten**

Drijvende elementen kunnen in de hoge delen van een constructie worden opgenomen, vergelijkbaar met de gasblaasjes in blaaswier. De constructie gaat pas drijven wanneer het waterniveau de drijvers bereikt. De constructiedelen lager dan deze drijvers bevinden zich bij hoogwater onder de waterspiegel.

Constructies kunnen vrij drijven op of onder de waterspiegel. Er is geen aanhechting met de ondergrond. In geval van stroming kan een constructie verankerd worden op een gunstige plaats, zoals de waterpest dat doet met zijn wortelstelsel.

##### *Inspiraties:*

- Drijvers bovenin de constructie
- Drijvende constructie verankeren op een gunstige locatie

##### *Beoordeling:*

Indien de drijvers bovenin de constructie zijn opgenomen dan is de woning stabiel vanwege het lager liggende zwaartepunt. De bouwdelen onder deze drijvers moeten waterdicht zijn uitgevoerd. De woning zal pas opdrijven bij extreem hoge waterstanden en is daardoor onder normale omstandigheden geen realistische oplossing.

Vrij drijvende constructies zijn al eerder beoordeeld in paragraaf 4.3.4. Een nadeel is het ontbreken van de mogelijkheid tot vaste verbindingen. De verankering kan geschieden middels trekkabels.

#### **4.3.6 Aan stroming aangepaste planten**

De reacties van planten op stromingen kunnen een inspiratie vormen voor het ontwerp van de woning. Naast waterstroming kan ook luchtstroming tot bepaalde eigenschappen van planten leiden. Een voorbeeld is de structuur van een blad van de bananenplant. Door tijdens een storm in te scheuren zal de totale windbelasting op het oppervlak afnemen, waardoor de steel minder krachten krijgt te verwerken.

Pijlkruid is een gewas dat zich aanpast aan de heersende omstandigheden. In stromend water zijn de stengels flexibeler om breuk te voorkomen.

##### *Inspiraties:*

- Verkleinen van de belaste oppervlakte
- Aanpassen van de constructie stijfheid

##### *Beoordeling:*

Zou men het principe van de inscheurende bladeren in woningen toepassen, dan zou de oppervlakte van de gevels tijdelijk verkleind kunnen worden om de krachten op de draagconstructie af te laten nemen. Daarnaast zorgt het openen van de gevels voor een gelijkmatige waterdruk aan binnen- en buitenzijde van de gevel. De inrichting van de onderste bouwlaag moet bestand zijn tegen het indringende water.

Indien de stijfheid van de constructie verlaagd zou worden -zoals pijlkruid in water flexibeler wordt- dan zouden de krachten op de constructie toe kunnen nemen zonder dat deze bezwijkt. Flexibele constructies vereisen dat bouwdelen zoals gevels mee kunnen vervormen. Translaties moeten tot een minimum beperkt worden om schade aan het interieur te voorkomen.

#### 4.4 Multicriteria-evaluatie beschermingsmethoden

In deze paragraaf worden de beschermingsmethoden voor de woningen tegen elkaar afgewogen in een multicriteria-evaluatie. Verschillende beoordelingscriteria worden opgesteld. Later in dit onderzoek zal één van de hoog scorende varianten nader uitgewerkt worden.

##### 4.4.1 Beoordelingscriteria

Hieronder zijn de criteria weergegeven waarop de varianten beoordeeld zullen worden. Een score van 1 tot en met 3 wordt toegekend, waarbij 3 staat voor de meest gunstige situatie. In de laatste kolom van de beoordelingstabel (pagina 45) wordt aangegeven of de variant valt binnen het onderzoeksgebied van dit afstudeerwerk.

##### *Effectiviteit*

De effectiviteit van de maatregel wordt bepaald. Het doel van het ontwerp is een reductie van schade aan een woning ten gevolge van hoogwater. De schade wordt opgesplitst in twee onderdelen, zo ook de beoordeling op effectiviteit.

De optredende kans op schade wordt vergeleken met de kans op schade van een onaangepaste woning, geconstrueerd op het maaiveld in overstromingsgebieden.

|                       |                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Waterschade:          | De schade die ontstaat door indringing van het water in de woning.<br>De schade kan zowel optreden aan de woning als aan het interieur.                                                                                                |
| 1                     | Kans op schade (vrijwel) onveranderd                                                                                                                                                                                                   |
| 2                     | Kans op schade verkleind                                                                                                                                                                                                               |
| 3                     | Kans op schade (vrijwel) uitgesloten                                                                                                                                                                                                   |
| Constructieve schade: | De schade die ontstaat door het bezwijken van bouwelementen.<br>Dergelijke schades zijn voornamelijk het gevolg van waterstroming.<br>Bij constructieve schade komt ook de veiligheid van eventueel aanwezige bewoners in het gedrang. |
| 1                     | Kans op schade (vrijwel) onveranderd                                                                                                                                                                                                   |
| 2                     | Kans op schade verkleind                                                                                                                                                                                                               |
| 3                     | Kans op schade (vrijwel) uitgesloten                                                                                                                                                                                                   |

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kosten        | De aanpassingen aan de verschillende typen woningen zorgen ervoor dat de totale opleveringskosten hoger uitvallen dan die van een onaangepaste woning. Onderscheid wordt gemaakt in de categorieën geen extra kosten, extra kosten en veel extra kosten. De laatst genoemde wordt toegekend aan woningtypen die naar verwachting meer dan 25 procent extra kosten met zich mee brengen ten opzichte van een standaard woning. |
|               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Veel extra kosten</li> <li>2 Extra kosten</li> <li>3 Geen extra kosten</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Beweging      | Vanwege het dynamische karakter van enkele varianten wordt beoordeeld in welke mate er energie vereist is ten tijde van dreigend water. Vooral de benodigdheid van elektriciteit is nadelig vanwege de mogelijke uitval ervan in crisissituaties.                                                                                                                                                                             |
|               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Elektrische energie vereist</li> <li>2 Arbeid vereist</li> <li>3 Geen energie of arbeid vereist</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Aansluitingen | Doordat enkele varianten dynamisch zijn, zijn er consequenties voor de mogelijkheden tot aansluiten van voorzieningen. Indien flexibele aansluitingen benodigd zijn, worden de kosten en de kans op falen groter. Indien niet alle voorzieningen aangesloten kunnen worden, zal de woonkwaliteit afnemen.                                                                                                                     |
|               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Geen volledige aansluitmogelijkheden</li> <li>2 Flexibele aansluitingen vereist</li> <li>3 Standaard aansluitingen</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Esthetiek     | Hoewel beoordeling van esthetiek persoonlijk is, wordt wel getracht de ontwerpen in te delen in drie categorieën. De hoogste esthetische waarde wordt toegekend aan woningen die niet zichtbaar afwijken van een standaard woning. De laagste esthetische waarde wordt toegekend aan woningen waar bij de aanpassingen ter preventie van waterschade duidelijk zichtbaar zijn.                                                |
|               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Duidelijk zichtbare aanpassingen</li> <li>2 Zichtbare aanpassingen</li> <li>3 Geen zichtbare aanpassingen</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                 |

#### 4.4.2 Weegfactoren

Aan elk beoordelingcriterium wordt een weegfactor verbonden. In deze paragraaf zijn de factoren en bijbehorende verklaring weergegeven.

|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Effectiviteit waterschade:<br><i>Weegfactor: 2</i>          | Hier wordt beoordeeld in hoeverre de oplossing het doel nastreeft, namelijk het reduceren van de materiële schade bij hoogwater.                                                                                                                             |
| Effectiviteit constructieve schade:<br><i>Weegfactor: 3</i> | Hier wordt beoordeeld in hoeverre de oplossing het doel nastreeft. In vergelijking met voorgaand criterium is de factor nu hoger vanwege mogelijk gevaar voor de bewoners bij het optreden van dit type schade.                                              |
| Kosten<br><i>Weegfactor: 2</i>                              | De totale realisatiekosten zijn een belangrijk onderdeel van de totale waarde van de woning. De kosten bepalen hoe rendabel het is om een dergelijke woning te ontwerpen.                                                                                    |
| Beweging<br><i>Weegfactor: 1</i>                            | De reden dat dit criteria is meegenomen, is de aanwezigheid van de kans op problemen die optreden door de beweging. Door deskundig te ontwerpen kan de kans erop gereduceerd worden.                                                                         |
| Aansluitingen<br><i>Weegfactor: 1</i>                       | De reden dat dit criterium is meegenomen, is de aanwezigheid van de kans op problemen die optreden ter plaatse van de aansluitingen. Door deskundig te ontwerpen kan die kans gereduceerd worden. De afwezigheid van aansluitingen kan worden gecompenseerd. |
| Esthetiek<br><i>Weegfactor: 1</i>                           | De beoordeelde esthetische waarde van een woning is persoonsgebonden. Het uiterlijk van de woning heeft geen invloed op de belangrijkste aspecten: veiligheid en kosten.                                                                                     |

### 4.4.3 Concepten

In deze paragraaf zijn de beoordeelde concepten voor het ontwerp van de woning weergegeven. Deze zijn gebaseerd op de inspiraties die in paragraaf 4.2 en 4.3 gevormd zijn. Alleen concepten voor een complete woning zijn meegenomen, inspiraties voor delen van een woning kunnen eventueel als aanvulling worden toegepast. Omdat het nog om concepten gaat en niet om concrete ontwerpplannen is de evaluatie ervan vrij globaal en geschied voornamelijk op basis van onderlinge vergelijking.

- 1 Vermijden van risicogebieden
- 2 Construeren op terpen
- 3 Permanente ondergrondse vestiging
- 4 Tijdelijke ondergrondse vestiging
- 5 Construeren op vaste kolommen
- 6 Construeren op beweegbare kolommen
- 7 Drijvende constructie met vaste locatie
- 8 Drijvende constructie zonder vaste locatie
- 9 Mogelijkheid tot uitbreiding woning aan de bovenzijde
- 10 Gestroomlijnde vorm van de woning
- 11 Verkleinen belaste oppervlakte van de gevels
- 12 Aanpassen van de constructiestijfheid

### 4.4.4 Evaluatie

|            |    | Water-<br>schade | Construc-<br>tie schade | Kosten | Beweging | Aanslui-<br>tingen | Esthetiek | Totaal<br>(incl. WF) | Geschikt voor<br>onderzoeksvraag* |
|------------|----|------------------|-------------------------|--------|----------|--------------------|-----------|----------------------|-----------------------------------|
| Weegfactor |    | 2                | 3                       | 2      | 1        | 1                  | 1         |                      |                                   |
| Variant    | 1  | 3                | 3                       | 3      | 3        | 3                  | 3         | 30                   | NEE (1,2)                         |
|            | 2  | 3                | 3                       | 2      | 3        | 3                  | 2         | 27                   | NEE (1,2)                         |
|            | 3  | 1                | 2                       | 1      | 3        | 3                  | 2         | 18                   | JA                                |
|            | 4  | 1                | 2                       | 1      | 1        | 1                  | 3         | 15                   | JA                                |
|            | 5  | 3                | 2                       | 2      | 3        | 2                  | 1         | 22                   | NEE (1)                           |
|            | 6  | 3                | 2                       | 1      | 1        | 2                  | 3         | 20                   | JA                                |
|            | 7  | 2                | 2                       | 1      | 2        | 2                  | 2         | 18                   | NEE(1)                            |
|            | 8  | 2                | 2                       | 1      | 2        | 1                  | 2         | 17                   | NEE(1)                            |
|            | 9  | 2                | 1                       | 2      | 1        | 3                  | 2         | 17                   | JA                                |
|            | 10 | 1                | 2                       | 2      | 3        | 3                  | 2         | 20                   | JA                                |
|            | 11 | 2                | 2                       | 2      | 2        | 3                  | 2         | 21                   | JA                                |
|            | 12 | 1                | 2                       | 1      | 2        | 2                  | 3         | 17                   | JA                                |

\* 1 = Al toegepast  
2 = Ongewijzigde constructie

Tabel 4.1: Multicriteria-evaluatie

#### **4.4.5 Resultaat**

Uit de multicriteria-evaluatie blijkt dat de drie volgende methoden het hoogst scoren:

- Vermijden van risicogebieden
- Construeren op terpen
- Construeren op vaste kolommen

Het vermijden van risicogebieden is de meest voor de hand liggende methode, ook in de natuur. Toch zullen mensen en dieren zich soms willen vestigen in risicogebieden, vanwege de voordelen die vochtige gebieden bieden.

In het geval dat men ervoor kiest om te bouwen in risicogebieden, is het aanbevelenswaardig de woning op een verhoging te construeren. Deze verhoging kan bestaan uit een zandlichaam of kolommen. Laatstgenoemde oplossing biedt meer ruimte aan het water.

Alle drie de genoemde methoden worden reeds toegepast vanwege de goede werking. Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag zijn deze methoden dan ook minder interessant. Het doel is een innovatief onderwerp; het toepassen van een nieuw concept.

Het nieuwe concept sluit bij voorkeur aan bij een in toenemende mate populaire aanpak, namelijk het leven met water. Water krijgt een nieuwe plaats in onze omgeving. Er wordt niet langer op alle fronten gestreden tegen het water; er wordt vooral ruimte aan (terug) gegeven. (UFM 2008)

Na de drie eerder genoemde reeds toegepaste methoden scoort het ontwerp met aan te passen geveloppervlaktes (nr.11) het hoogst. Tevens sluit deze methode aan bij het concept 'Leven met water'. De woning is voorbereid op de komst van het water.

Vanwege de effectieve werking, het innovatieve karakter en de ruime mogelijkheden tot technische uitwerking van deze variant, is deze interessant voor nader onderzoek. In het volgende hoofdstuk zal de inspiratie uit de natuur vertaald worden naar een toepassingsvorm.

De variant 'bewegende kolommen' scoorde in de multicriteria-evaluatie nagenoeg even hoog als de 'te openen gevels'. Omdat deze variant ook interessant lijkt om toe te passen zijn beide varianten in de volgende paragraaf nader vergeleken.

#### 4.5 Nadere bestudering hoogst scorende varianten

##### *Verkleinen belaste oppervlakte gevel*

De hoogst scorende en nog niet toegepaste variant in de multicriteria-evaluatie is de 'te openen gevel', gebaseerd op het inscheurende blad van de bananenboom. Deze oplossing van de natuur kan inspireren tot een woning waarvan de gevels op de begane grondverdieping te openen zijn. Deze gevels zijn niet dragend, kolommen zijn benodigd om de hoger gelegen verdiepingen te ondersteunen. De begane grond kan dienst doen als garage en opslag, terwijl de meer schadegevoelige eigendommen op een hoger niveau geplaatst worden.

Voor het ontwerp van een te openen gevel moeten een aantal afwegingen gemaakt worden. Allereerst is de vorm van belang; deze is van invloed op de wijze van openen. Daarnaast moet er ook een keuze gemaakt worden over het toe te passen materiaal. De verschillende mogelijkheden en afwegingen zijn terug te vinden in hoofdstuk 5.

##### *Beweegbare kolommen*

De grootste voordelen van een woning op beweegbare kolommen ten opzichte van een standaard paalwoning zijn het gebruiksgemak en de esthetiek. Onder normale omstandigheden zal de woning zich op maaiveldniveau bevinden, wat de entree vergemakkelijkt. Ook het aanzicht van een dergelijke woning zal over het algemeen beter beoordeeld worden dan dat van een paalwoning.

Bestuderen we nogmaals de variant met de te openen gevels, dan blijken de eerder genoemde voordelen ook hier voor te komen. Onder normale omstandigheden zijn de gevels gesloten, waardoor de woning er niet anders uit ziet dan direct op het maaiveld geconstrueerde woningen. De onderste bouwlaag zal de toegang tot de woning verschaffen, waardoor een externe trap niet noodzakelijk is.

De voordelen van een woning met beweegbare kolommen kunnen ook verschaft kunnen worden door de naar verwachting goedkopere woning met te openen gevels. Deze laatstgenoemde verdient zodoende de voorkeur om nader uitgewerkt te worden.

## Referenties

Harke, J. (2006). Bouwen op palen in uiterwaarden. Enschede: 96.

Song, Y. S. and M. Sitti (2007). "Surface-Tension-Driven Biologically Inspired Water Strider Robots: Theory and Experiments." Transactions on robotics 23(3): 12.

UFM. (2008). " Urban Flood Management Dordrecht ", Retrieved from <http://www.traverse.nl/sharepointsite.com/Traverse/Platforms/Leven%20met%20Water/UFM/home.aspx>.

Wavter, R. (2003). "Drag Force in a Medium." Retrieved 22 aug 2008, from <http://www.ac.wvu.edu/~vawter/PhysicsNet/Topics/Dynamics/Forces/DragForce.html>.

## 5. Van inspiratie naar toepassing

*In dit hoofdstuk is beschreven hoe de bruikbaar bevonden inspiraties uit de natuur toegepast kunnen worden in de woningbouw. Het doel van dit hoofdstuk is het beantwoorden van de derde deelvraag; 'Hoe kunnen de in de natuur voorkomende oplossingen bij dreigend water vertaald worden naar in de woningbouw toe te passen technische elementen?' Tevens is in paragraaf 5.4 het antwoord op de hoofdvraag van dit afstudeeronderzoek gegeven.*

### 5.1 Eigenschappen bananenblad

Om het principe van het inscheurende bananenblad toe te kunnen passen in de woningbouw, moeten de eigenschappen ervan bekend zijn. In deze paragraaf worden de vorm en structuur beschreven.

De familie van de bananenplant (*Musa*) bestaat uit tientallen verschillende soorten. De (blad)structuur van de verschillende soorten komen sterk overeen. Het middenrif van het bananenblad is een verlengde van de stengel, die direct uit de stam groeit. Deze stengel heeft geen ronde doorsnede maar bevat een groef, zoals in figuur 5.1 te zien is. Hierdoor is de stengel niet in alle richtingen even buigzaam. Door in bepaalde situaties te torderen bereikt de stengel een andere stijfheid en kan het blad zich meebewegen met de windrichting. Hierdoor wordt de belasting erop gereduceerd. (Ennos, Spatz et al. 2000)

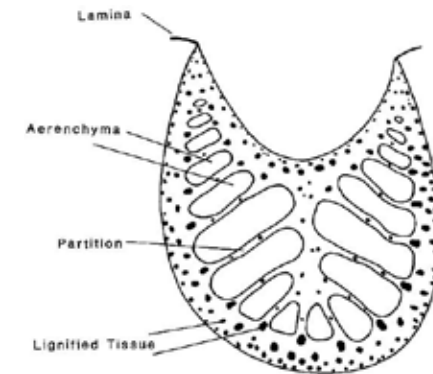
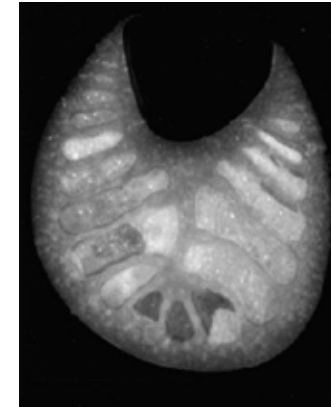


Fig. 5.1a/b: Foto en schematisering doorsnede stengel bananenplant.

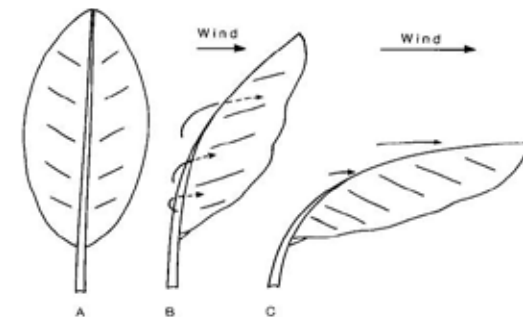
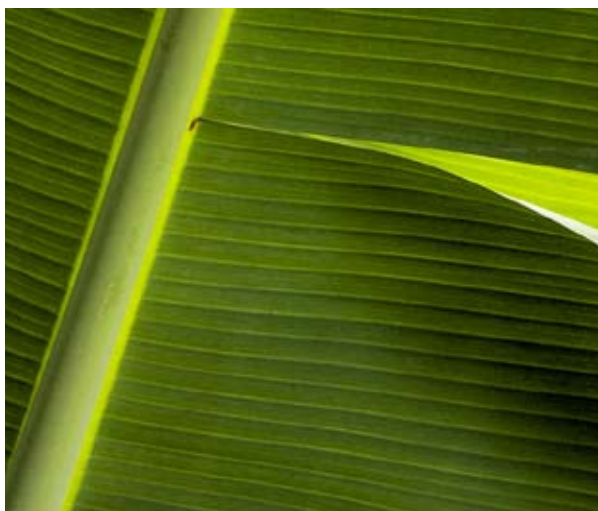


Fig. 5.2: Wegdraaiend blad in de wind



**Fig. 5.3:** Nerven ten opzichte van het middenrif bij de *Musa lasiocarpa*



**Fig. 5.4:** Het inscheuren van het blad, parallel aan de secundaire nerven

Aan het middenrif groeit aan weerszijde het blad. De breedte van het blad varieert over de lengte van het middenrif; aan het begin en eind uitlopend in een punt. Verbonden aan het middenrif (primaire nerf) bevinden zich de bladnerven (secundaire nerven). Deze nerven dienen voor het transport van voedingsstoffen vanuit de stengel naar het bladgroen. Tevens voorzien de nerven in de stijfheid van het blad.

De bladnerven staan niet loodrecht op het middenrif maar onder een hoek, zoals in figuur 5.3 te zien is. De hoek varieert voor verschillende plantensoorten uit de *Musa*-familie, de richting ten opzichte van het middenrif is hetzelfde. De nerven lopen naar buiten toe in de richting van de punt van het blad.

Parallel aan de secundaire nerven lopen ook dunnere nerven, die eveneens voor het transport van voedingsstoffen zorgen. De nerven hebben een vezelachtige structuur, wat de sterkte van het blad in de lengterichting van de nerven vergroot. Door dit patroon zal het inscheuren van de bladeren parallel aan de nerven gebeuren. Er treedt in dat geval geen schade op aan het blad doordat het transport van voedingsstoffen niet onderbroken wordt. De scheur stopt doorgaans pas bij de primaire nerf (figuur 5.4).

## 5.2 Openingsmechanisme gevel

Nu er meer over de structuur van het bananenblad bekend is, kan deze vertaald worden naar bouwelementen. Belangrijk is de vraag tot op welk detailniveau dit het beste gedaan kan worden. Bij een exacte imitatie zouden het materiaal en de structuur zo precies mogelijk nagebootst worden. Er moet bepaald worden of een gedetailleerde kopie van de bladstructuur wel tot een optimale oplossing leidt. De waarde van het imiteren moet in dit specifieke geval bepaald worden. Dit wordt gedaan door meerdere openingsmechanismen tegen elkaar af te wegen.

### Alternatieven

#### 1. *Inscheurende gevel*

**Beschrijving:** Deze variant lijkt het meeste op de inspiratiebron; het inscheurende bananenblad. De structuur van de gevel is zodanig dat deze bij bepaalde krachten zal inscheuren. De plaats van het scheuren kan op voorhand bepaald worden door de sterkte van het gevelmateriaal te variëren.

**Voordelen:** -De gevel wordt geopend door het water; zonder tussenkomst van mensen of machines.

**Nadelen:** -De benodigde sterkte van de gevel is moeilijk te bepalen, waardoor de kans op falen groter wordt.  
-De gevel moet na opening hersteld worden.

#### 2. *Wegbrekende gevel*

**Beschrijving:** In deze variant scheurt het gevelmateriaal niet plaatselijk, maar wordt in zijn geheel verwijderd. Door de kracht van het water bezwijkt de gevel en deze wordt meegevoerd met de stroom.

**Voordelen:** -De gevel wordt geopend door het water; zonder tussenkomst van mensen of machines.

**Nadelen:** -De benodigde sterkte van de gevel is moeilijk te bepalen.  
-De gevel moet na opening hersteld worden.

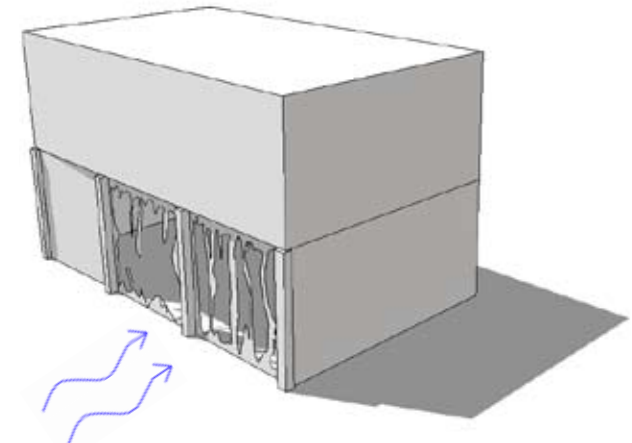


Fig. 5.5: Variant 1

*In deze en ook in volgende figuren is het openings-systeem alleen uitgebeeld voor de gevel die belast is door de waterstroming. In werkelijkheid zullen alle gevels rondom uitgevoerd worden met datzelfde systeem.*

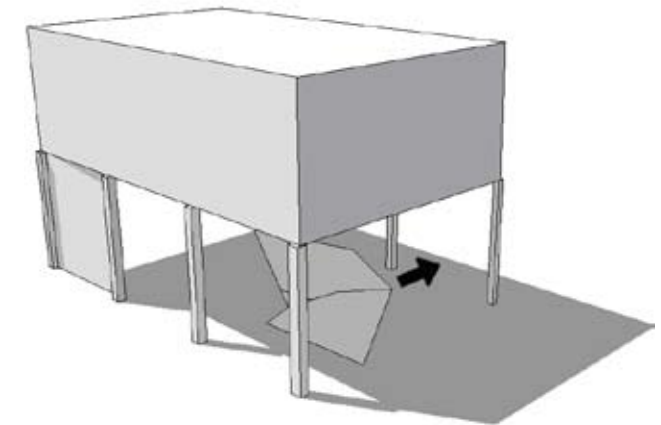


Fig. 5.6: Variant 2

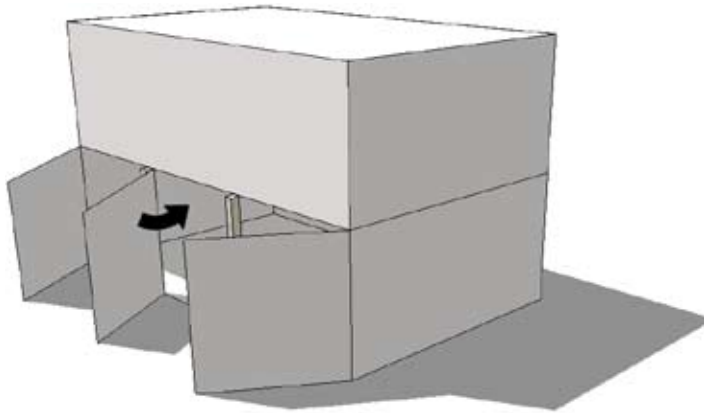


Fig. 5.7: Variant 3

### 3. *Zijwaarts scharnierende gevelelementen*

**Beschrijving:** De gevel is opgebouwd uit beweegbare elementen die roteren om verticale scharnieren. Bij hoogwater kunnen deze elementen als een soort deuren opgezet worden. De te openen delen bewegen naar buiten zodat er aan de binnenzijde van het gebouw geen profiel van vrije ruimte vereist is.

**Voordelen:** -De gevelelementen zijn eenvoudig en handmatig te openen.

**Nadelen:** -De gevelelementen moeten bestand zijn tegen water.

-Er moet een profiel van vrije ruimte rondom de woning aanwezig zijn.

-Het totale geveloppervlak neemt niet af, eenzelfde deel van de gevel blijft onder de watergrens, hetzij gunstiger georiënteerd ten opzichte van eventuele stromingen.

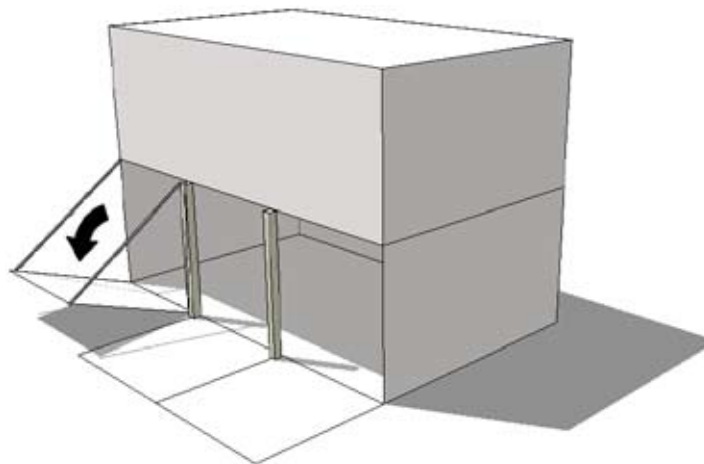


Fig. 5.8: Variant 4

### 4. *Neerwaarts scharnierende gevelelementen*

**Beschrijving:** De gevel is opgebouwd uit beweegbare elementen die roteren om horizontale scharnieren. Bij hoogwater kunnen deze elementen naar het maaiveld geklapt worden. De te openen delen bewegen naar buiten, zodat er aan de binnenzijde van het gebouw geen profiel van vrije ruimte vereist is.

**Voordelen:** -De gevelelementen zijn eenvoudig met de hand te openen doordat de bewegingsrichting niet tegen de richting van de zwaartekracht in is.

**Nadelen:** -De gevelelementen moeten bestand zijn tegen water.

-Er moet een profiel van ruimte rondom de woning aanwezig zijn.

-Het openingsmechanisme is niet meer bruikbaar indien de hoge waterstanden al zijn opgetreden.

## 5. *Opwaarts scharnierende gevelelementen*

**Beschrijving:** De gevel is opgebouwd uit beweegbare elementen die roteren om horizontale scharnieren. Bij hoogwater kunnen deze elementen naar boven worden geklapt. De te openen delen bewegen naar buiten, zodat er aan de binnenzijde van het gebouw geen profiel van vrije ruimte vereist is. De beweegbare elementen bevinden zich in de geopende situatie voor de gevels van de eerste bouwlaag.

**Voordelen:** -De elementen blijven buiten het bereik van het water en kunnen naderhand eenvoudig teruggeplaatst worden.

**Nadelen:** -De benodigde hoeveelheid arbeid voor de beweging is bij deze variant groter dan die voor andere varianten.  
-Het openingsmechanisme is niet meer bruikbaar indien de hoge waterstanden al zijn opgetreden.

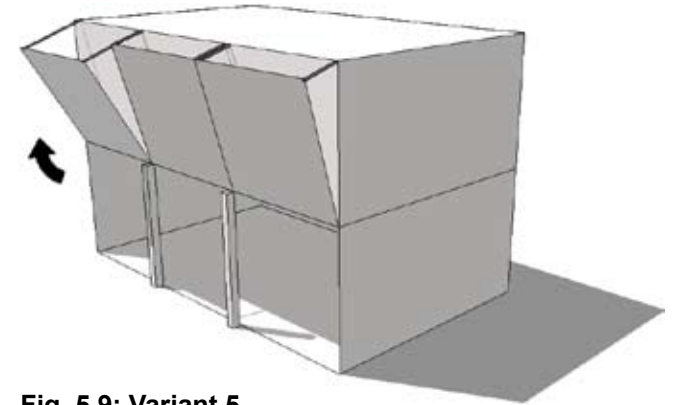


Fig. 5.9: Variant 5

## 6. *Neerwaarts schuivende gevelelementen*

**Beschrijving:** De gevel is opgebouwd uit beweegbare elementen die bij hoogwater neerwaarts schuiven. De gevelelementen verdwijnen in sleuven in de grond.

**Voordelen:** -Er is geen profiel van vrije ruimte in of om de woning benodigd.

**Nadelen:** -De sleuven kunnen de ondergrondse infrastructuur hinderen.  
-De gevelelementen en sleuven moeten bestand zijn tegen water.  
-Dit alternatief is relatief duur.

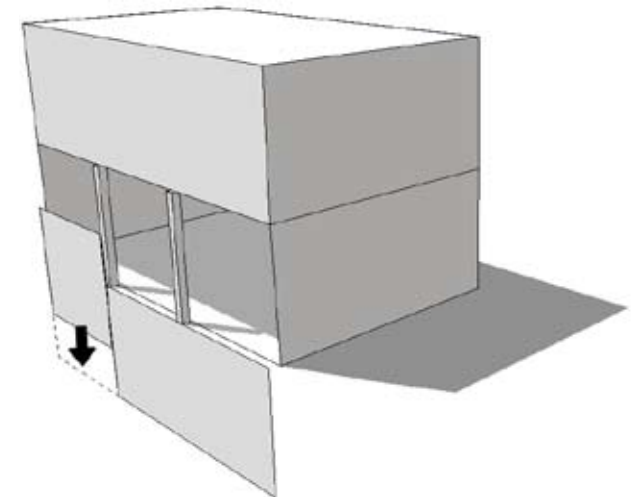


Fig. 5.10: Variant 6

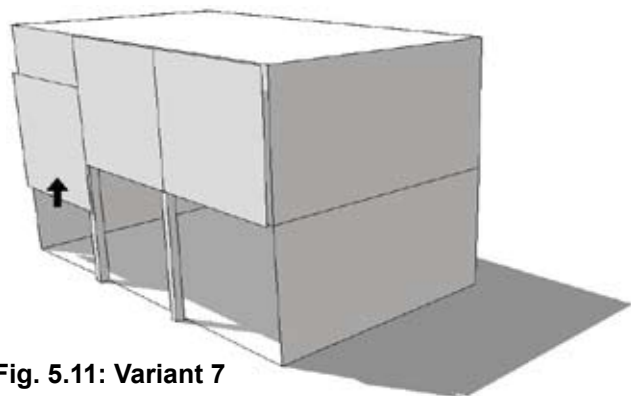


Fig. 5.11: Variant 7

#### 7. *Opwaarts schuivende gevelelementen*

**Beschrijving:** De gevel is opgebouwd uit beweegbare elementen die bij hoogwater opwaarts schuiven. De gevelelementen bevinden zich dan voor de gevel van de eerste bouwlaag.

**Voordelen:** -Er is geen profiel van vrije ruimte in of om de woning benodigd.  
-De elementen blijven buiten het bereik van het water en kunnen na afloop teruggeplaatst worden

**Nadelen:** -De vereiste arbeid is tegengesteld gericht aan de zwaartekracht.

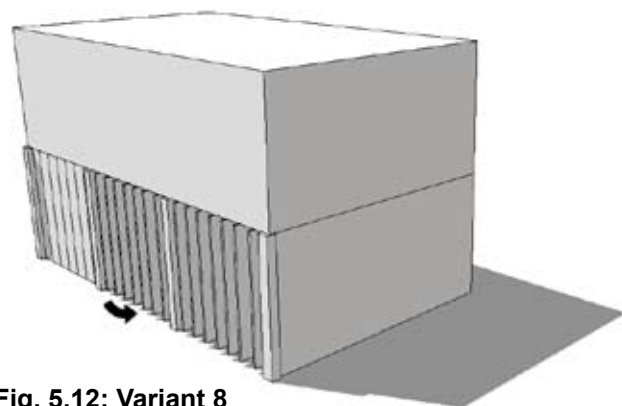


Fig. 5.12: Variant 8

#### 8. *Verticale lamellen*

**Beschrijving:** De gevel is opgedeeld in verticale stroken die kunnen roteren om hun lengteas. Door de lamellen individueel of gekoppeld te laten draaien kan de gevel geopend worden.

**Voordelen:** -Lamellen zijn achteraf eenvoudig in de oorspronkelijke positie terug te brengen.

**Nadelen:** -De lamellen blijven binnen het bereik van het water, de afname van stromingsweerstand is niet optimaal.

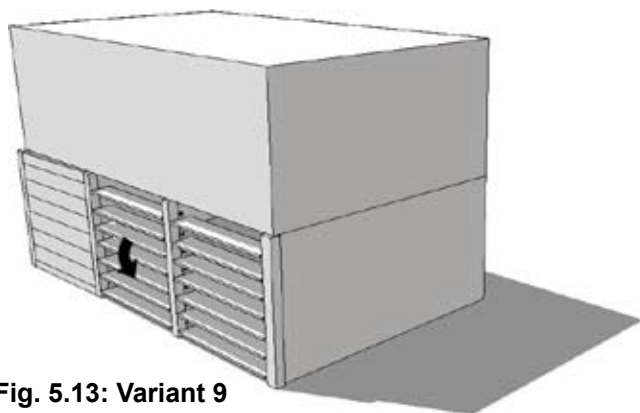


Fig. 5.13: Variant 9

#### 9. *Horizontale lamellen*

**Beschrijving:** De gevel is opgedeeld in horizontale stroken die kunnen roteren om hun lengteas. Door de lamellen individueel of gekoppeld te laten draaien kan de gevel geopend worden.

**Voordelen:** -Lamellen zijn achteraf eenvoudig in de oorspronkelijke positie terug te brengen.

-De gevel kan ook deels geopend worden.

**Nadelen:** -De lamellen blijven binnen het bereik van het water, de afname van stromingsweerstand is niet optimaal.

-De horizontale lamellen hebben ten opzichte van de verticale lamellen het nadeel dat in de dimensionering rekening moet worden gehouden met doorbuiging ten gevolge van het eigen gewicht.

### 5.3 Multicriteria-evaluatie openingsmechanismen

In deze paragraaf worden de verschillende varianten van openingsmechanismen onderling vergeleken. Hiertoe zijn verschillende beoordelingscriteria plus bijbehorende weegfactoren bepaald.

#### 5.3.1 Beoordelingscriteria

##### *Afname oppervlakte gevel*

Weegfactor: 3

De mate waarin de oppervlakte van de gevel afneemt is van invloed op de effectiviteit van het mechanisme. Het doel is de totale stroomweerstand af te laten nemen. Varianten waarbij de hoeveelheid onder de watergrens aanwezige bouwelementen minimaal is verdienen de voorkeur. Ook de vorm van deze bouwelementen is van invloed op de weerstand.

##### *Betrouwbaarheid*

Weegfactor: 3

De manier waarop een gevel geopend wordt heeft invloed op de betrouwbaarheid. Een systeem dat werkt zonder de tussenkomst van mensen of elektrische energie verdient de voorkeur doordat de kans op falen kleiner dan is. Ook de (onbewuste) sabotage van het mechanisme door bewoners of anderen moet in beschouwing worden genomen.

##### *Kosten*

Weegfactor: 2

De bouw- en onderhoudskosten van de woningen bepalen mede of het toepassen van dergelijke openingssystemen rendabel is.

##### *Profiel van vrije ruimte*

Weegfactor: 1

Bij enkele varianten is het vereist dat er een profiel van vrije ruimte aanwezig is om de gevel ongehinderd te openen. Dit belemmert de vrije indeling van de woning en de ruimte eromheen.

### *Gevelopeningen*

Weegfactor: 1

De opbouw van de gevel bepaalt of het mogelijk is om eenvoudig openingen als ramen en deuren te creëren. Een vrije indeling verdient de voorkeur.

### *Hergebruik*

Weegfactor: 1

Indien een gevelelement na een periode van hoogwater weer kan worden teruggeplaatst zonder schade dan zal dit het herstel van de woning bespoedigen. Tevens zijn de lage herstellkosten een gunstige eigenschap van dergelijke gevels.

### *Esthetiek*

Weegfactor: 1

De te openen gevels hebben invloed op het uiterlijk van de woning. Vloedbestendige woningen die zoveel mogelijk lijken op standaard woningen verdienen de voorkeur. De onderdelen van het openingsmechanisme zijn bij voorkeur niet zichtbaar.

### 5.3.2 Evaluatie

In tabel 5.1 is beoordeeld hoe elke variant scoort op de verschillende criteria. De meest gunstige beoordeling krijgt een score van 3 toegekend, een score van 1 betekent een minder goede beoordeling op dat vlak.

In de laatste kolom is de totaalscore gegeven. Deze is het resultaat van een vermenigvuldiging van de scores en de bijbehorende weegfactor.

De hoogste totaalscore duidt de best beoordeelde variant aan.

|            |   | Afname<br>gevelopp. | Betrouw-<br>baarheid | Kosten | Profiel van<br>vrije ruimte | Mogelijke<br>openingen | Herbruik-<br>baarheid | Esthetiek | Totaal |
|------------|---|---------------------|----------------------|--------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|--------|
| Weegfactor |   | 3                   | 3                    | 2      | 1                           | 1                      | 1                     | 1         |        |
| Variant    | 1 | 1                   | 2                    | 2      | 3                           | 2                      | 1                     | 1         | 20     |
|            | 2 | 2                   | 2                    | 2      | 3                           | 3                      | 1                     | 2         | 25     |
|            | 3 | 1                   | 1                    | 3      | 1                           | 2                      | 3                     | 2         | 20     |
|            | 4 | 3                   | 1                    | 3      | 1                           | 2                      | 2                     | 2         | 25     |
|            | 5 | 3                   | 1                    | 3      | 1                           | 2                      | 3                     | 2         | 26     |
|            | 6 | 3                   | 1                    | 1      | 3                           | 3                      | 2                     | 3         | 25     |
|            | 7 | 3                   | 1                    | 2      | 3                           | 3                      | 3                     | 2         | 27     |
|            | 8 | 1                   | 2                    | 2      | 2                           | 1                      | 2                     | 1         | 19     |
|            | 9 | 1                   | 2                    | 2      | 2                           | 1                      | 2                     | 1         | 19     |

**Tabel 5.1: MCE openingsmechanismen**

1. Inscheurende gevel
2. Wegbrekende gevel
3. Zijwaarts scharnierende gevelelementen
4. Neerwaarts scharnierende gevelelementen
5. Opwaarts scharnierende gevelelementen
6. Neerwaarts schuivende gevelelementen
7. Opwaarts schuivende gevelelementen
8. Verticale lamellen
9. Horizontale lamellen

### 5.3.3 Resultaat

De totaalscores liggen dicht bij elkaar, waardoor het raadzaam is enkele varianten naderte vergelijken. De twee hoogst scorende varianten zijn de de 'opwaarts scharnierende gevel' en de 'opwaarts schuivende gevel'. De varianten 'neerwaarts schuivende gevel', 'neerwaarts scharnierende gevel' en de 'wegbrekende gevel' scoren nagenoeg even hoog.

Het grootste nadeel van de scharnierende constructies is de noodzaak tot de aanwezigheid van een profiel van vrije ruimte rondom de woning. Er is gekozen voor een opening naar de buitenzijde. Een opening naar de binnenzijde zou op enkele punten nog hoger scoren, dit vereist echter een lege garage/opslag in de operationele fase. De goederen in de ruimte kunnen bij dreigend water verwijderd worden, iets wat echter niet altijd mogelijk is.

De scharnierende gevels kunnen alleen op voorhand geopend worden. Tijdens een hoge waterstand zal de waterdruk de beweging belemmeren.

De neerklappende gevel heeft als nadeel dat de gevelelementen zich bij hoogwater onder de watergrens bevinden, waardoor extra eisen aan de afwerking ervan ontstaan.

Een omhoog schuivende gevel vereist geen extra ruimte in of om de woning. Tevens blijven de gevelelementen droog bij waterstanden tot op het niveau van de eerste verdieping.

De 'neerwaarts schuivende gevel' is in vergelijking kostbaar vanwege de ondergrondse elementen. Daarnaast kan een dergelijke constructie problemen opleveren tijdens de aanleg van ondergrondse infrastructuur.

De wegbrekende gevel moet na hoogwater opnieuw aangebracht worden, waarvoor tijd en geld benodigd is. Het systeem wordt reeds toegepast in enkele Amerikaanse staten, waardoor er geen sprake is van een innovatief concept. (FEMA 1999)

#### *Conclusie*

De opwaarts schuivende gevel heeft de meest gunstige eigenschappen in vergelijking met de overige varianten. Dit openingsmechanisme zal in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt worden.

## 5.4 Conclusie

Deze paragraaf bevat de kort samengevatte antwoorden op de derde deelvraag en de hoofdvraag.

*Deelvraag 3: 'Hoe kunnen de in de natuur voorkomende oplossingen bij dreigend water vertaald worden naar in de woningbouw toe te passen technische elementen?'*

Het voornaamste probleem tijdens het ontwerpen van een vloedbestendige woning is het bestendig maken van de woning tegen schade door water. Zeker in geval van stromend water zal rekening moeten worden gehouden met mogelijke constructieve schade.

Een effectief gebleken en interessante oplossing in de natuur is het verkleinen van de door stroming belaste oppervlakte. Dit concept is terug te vinden bij een bananenblad dat zich in luchtstroming bevindt. Bij hoge windkrachten zal het blad een kleiner oppervlak krijgen door in te scheuren. Hierdoor wordt de totale windbelasting op de plant gereduceerd. Hetzelfde principe kan worden toegepast op woningen. Door de belaste oppervlakte van de gevel te verkleinen wordt de constructie minder zwaar belast.

Bepaald moet worden in welke mate het kopiëren van de natuur de meest optimale oplossing oplevert. Indien de natuur nauwkeurig geïmiteerd zou worden dan zou een gevel met exact nagebootste materialen en structuur het resultaat zijn. De uitkomst van een analyse laat echter zien dat afwijkende openingsmechanismen van de gevel op verschillende vlakken beter scoren.

*Hoofdvraag: 'Welke inspiratie kan de natuur leveren tijdens het ontwerpen van een vloedbestendige woning?'*

Elementen in de natuur beschikken over verschillende methoden om zich te beschermen tegen hoogwater. Globaal zijn deze:

- Het meebewegen met de waterspiegel door te drijven;
- Het vestigen buiten het bereik van het water; onder of ruim boven de grond;
- Het aanpassen van de vorm om minder hinder door waterstroming te ondervinden.

Binnen de laatste categorie valt ook het aanpassen van de totale belaste oppervlakte. Deze methode - gebaseerd op het inscheurende bananenblad - blijkt interessant om nader uit te werken voor een toepassing in de woningbouw.

## Hoofdconclusie

Elementen in de natuur zijn in staat om zich optimaal te ontwikkelen door zich aan te passen aan de heersende omstandigheden. Deze flexibiliteit van de natuur kan een interessante bron van inspiratie zijn tijdens het oplossen van menselijke problemen.

Onze woningen hebben doorgaans een star karakter. Door nieuwe bouwmethoden toe te passen wordt het mogelijk om ook gebouwen te laten anticiperen op de heersende omstandigheden. Zo kunnen woningen in mogelijke overstromingsgebieden uitgevoerd worden met gevels die te openen zijn bij hoogwater. Hierdoor nemen de belastingen op de constructie af. Daarnaast neemt ook de stromingsweerstand af, iets wat vereist is om in uiterwaarden te mogen bouwen.

Het kritisch beoordelen van de waarde van het toepassen van biomimetica is een belangrijk onderdeel van het ontwerpproces.

Analyse van de natuur heeft geleid tot interesse in te openen gevels voor woningen in overstromingsgebieden. Nauwkeurige imitatie van de inspiratiebron - een bananenblad - bleek echter niet tot het meest optimale ontwerp te leiden. De ontwerper van een vloedbestendige woning heeft weliswaar de natuur kunnen gebruiken als inspiratiebron, een eigen inbreng bleef vereist.

## Referenties

Ennos, A. R., H.-C. Spatz, et al. (2000). "The functional morphology of the petioles of the banana, *Musa textilis*." *Journal of experimental Botany* 51(353): 9.

FEMA (1999). *Design and Construction Guidance for Breakaway Walls Below Elevated Coastal Buildings*. M. Directorate. Washington. 9.

## 6. Ontwerpcase vloedbestendige woning

---

*De eerder gevonden resultaten zullen in een ontwerpcase toegepast worden. In dit hoofdstuk zal deze ontwerpcase beschreven worden. Het doel van dit hoofdstuk is het aantonen van de bruikbaarheid van een vloedbestendige woning binnen onze landsgrenzen en daarbuiten. Daartoe wordt een geschikte projectlocatie geselecteerd. Aan de hand van deze locatie worden de optredende belastingen beschreven. Tevens is in dit hoofdstuk een Programma van Eisen voor de woningen opgenomen.*

### 6.1 Eigenschappen vloedbestendige woningen.

Om een projectgebied te selecteren waar de woning zo effectief mogelijk kan worden toegepast, moeten eerst de belangrijkste eigenschappen van de woning vastgesteld worden. Gebaseerd op het schetsmatige ontwerp uit hoofdstuk 5 is bepaald in welke situaties de woning bruikbaar is.

#### *Stroming*

Het belangrijkste verschil tussen de vloedbestendige woning en een standaard woning is de afgenomen oppervlakte van de gevel. Hierdoor neemt de stromingsweerstand van de woning af. Dit heeft voordelen in gebieden waar het water de ruimte moet krijgen. Zo kan het door deze aanpassingen bijvoorbeeld toegestaan worden om in de uiterwaarden van een rivier te bouwen.

De afname van de belastingen ten gevolge van het openen van de gevel is het grootst in gebieden met waterstroming. Constructieve schade in gebieden met stilstaand water is van ondergeschikt belang. De schade aan de inboedel is in deze gevallen verhoudingsgewijs hoger.

De toegevoegde waarde van de te openen gevel is vooral aanwezig in overstromingsgebieden waar stroming in het water aanwezig is.

Modderstromen worden niet meegenomen in de dimensioneren van de woning. Een waterstroom met meegevoerd drijvend puin wordt als kritische belasting beschouwd.

### Waterstand

De stand van het water is van invloed op de bruikbaarheid van een woning met te openen gevels. Indien het waterniveau niet ver boven het maaiveld ligt dan is de toegevoegde waarde van het openen van de gevel gering. De afnemende geveloppervlakte heeft bij lage waterstanden nog maar een kleine invloed op de totale stromingsweerstand.

De gevel is alleen te openen tot op het vloerniveau van de eerste verdieping. Waterstanden van meer dan 2,5 meter boven het maaiveld zullen zodoende nog steeds tot schade aan de woning en inrichting leiden.

De voordelen van een woning met te openen gevels zijn vooral aanwezig in overstromingsgebieden met waterstanden tussen 1 en 2,5 meter boven het maaiveldniveau.

### Inundatiefrequentie

Het aantal keren dat een woning onder water komt te staan tijdens de levensduur ervan, bepaalt of het rendabel is om de aanpassingen aan de gevels te realiseren. Ook de duur van de overstroming is van belang voor de geschiktheid van woningen in een bepaald gebied.

De vloedbestendige woning zal een toegevoegde waarde hebben in gebieden waar de kans op overstromingen ongeveer eens in de 10 jaar is. Indien de duur van de overstroming langer is dan één maand is het bebouwen van het gebied af te raden.

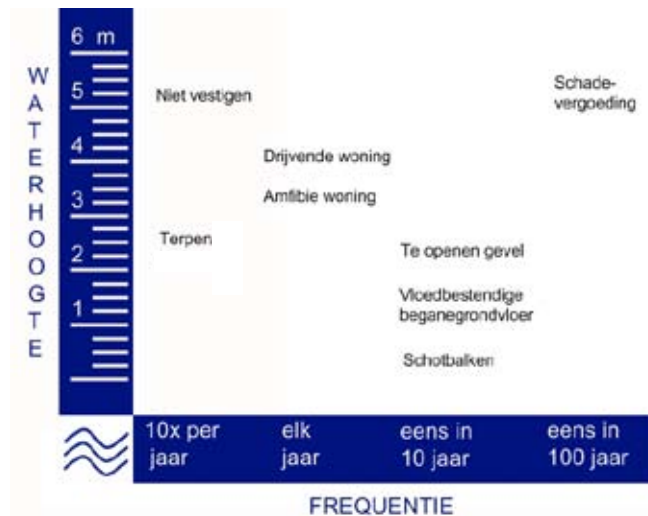


Fig. 6.1:  
Overzicht oplossingen overstromingsgebieden

### Combinatie

De combinatie van de optredende waterstand en de inundatiefrequentie zijn belangrijk om te beoordelen of een bepaalde oplossing bij het betreffende overstromingsgebied past. In nevenstaande figuur zijn beide criteria op de assen uitgezet. In het veld is te vinden welke oplossingen het beste bij de situaties passen.

In paragraaf 6.8 is beschreven welke maatregelen er genomen kunnen worden om de vloedbestendige woningen ook in andere situaties toe te kunnen passen.

## 6.2 Geschikte gebieden

Vanwege het feit dat er gezocht wordt naar een gebied waar stroming optreedt, is het interessant om de mogelijkheden voor bouwen in uiterwaarden te onderzoeken. In uiterwaarden is het van belang dat de rivier niet gehinderd wordt in zijn doorstroming. De frequentie waarmee overstromingen optreden hangt samen met factoren als maaiveldhoogte en afstand tot de rivier. Het is denkbaar dat bepaalde uiterwaarden eens in de 10 jaar volledig onder water zullen lopen.

Gezocht is naar een gebied waar bebouwing in de toekomst aannemelijk is. Veel gebieden die grenzen aan de grote rivieren zijn toe aan een herinrichting. Wonen aan het water is altijd populair geweest. Na de hoge waterstanden in 1993 en 1995 is de beleidslijn omtrent het bouwen in de uiterwaarden echter sterk gewijzigd. De focus lag op het meer ruimte geven aan de rivier. De bestaande plannen voor nieuwbouw werden aan de kant geschoven. Pas in 2005 werd er weer serieus nagedacht over het gebruik van uiterwaarden als woongebied. In dat jaar publiceerden de ministeries van VROM en Verkeer en Waterstaat een lijst met 15 zogenaamde EMAB locaties. Het 'Experimenteren Met Aangepast Bouwen' betekent bijvoorbeeld dat het bouwen van drijvende of verhoogde woningen toegestaan is. (Dekker 2005) (Zie bijlage II)

Eén van de EMAB-locaties beslaat het gebied 'Stadsblokken-Meinerswijk' in Arnhem. Er zijn plannen om dit uiterwaardengebied aan de zuidoever van de Rijn te onderwerpen aan een herstructurering. De motivaties om dit gebied aan te wijzen als projectgebied voor de ontwerpcase zijn:

- Het gebied voldoet aan de gestelde eisen betreft de aanwezigheid van stroming, het aantal overstromingen en de bijbehorende waterstand. (Gemeente Arnhem 2007)
- De ambitie om dit gebied in te richten om er te wonen is realistisch, getuige de lopende plannen en de opname in de lijst met EMAB-locaties.
- Delen van Stadsblokken-Meinerswijk zijn verloederd vanwege de achtergebleven ontwikkeling. Het gebied kan aangewend worden om noordelijk en zuidelijk Arnhem te verbinden.
- Het gaat om een gebied in een ontwikkeld land, waardoor de aanwezigheid van voldoende materiaal, materieel en kennis gewaarborgd is.
- Het gebied is in Nederland gevestigd, waardoor er ontworpen kan worden aan de hand van de vertrouwde Nederlandse normen en richtlijnen.

### 6.3 Stadsblokken-Meinerswijk te Arnhem

#### *Ligging*



**Fig. 6.2:** Het gebied Stadsblokken-Meinerswijk

Het gebied Stadsblokken-Meinerswijk is gesitueerd aan de zuidoever van de Rijn, ten westen van het oude stadscentrum van Arnhem. Het gebied is verbonden met de binnenstad middels de Nelson Mandelabrug / Eldenseweg (#1) en de John Frostbrug / Nijmeegseweg (#2 in fig. 6.2).

#### *Geschiedenis*

Arnhem kent een rijke geschiedenis, teruggaand tot de tijd van de Romeinen. De plaats kreeg in het jaar 1233 haar stadsrechten. Toentertijd was de stad niet aan de Rijn gelegen. Pas na de omlegging van de rivier in 1530 kon er volop geprofiteerd worden van de ligging aan het water. Een haven werd gerealiseerd, wat een impuls voor de industrie betekende. De verbinding tussen Arnhem en het gebied ten zuiden van de Rijn bestond eeuwenlang uit een schipbrug.

In 1935 werd de eerste vaste verbinding over de Rijn gevormd in de vorm van de tegenwoordig genoemde John Frostbrug. Het gebied ten zuiden van de Rijn werd hierna bij de stad betrokken. Ten zuiden van de John Frostbrug ontstonden woongebieden. Het gebied ten westen van de John Frostbrug, de Meinerswijk, bleef onbebouwd. Dit uiterwaardengebied werd aangewend voor industriële doeleinden. Vooral de grondwinning speelde een belangrijke rol, wat nog blijkt uit de aanwezige kleigaten en een bewaard gebleven steenfabriek.

Het laatste decennium is er weinig activiteit ondernomen in het gebied. Het meest oostelijke deelgebied biedt plaats aan een jaarlijks terugkerend muziekerevenement. Vanaf 1991 is een groot deel van de Meinerswijk door de gemeente Arnhem beheerd als uiterwaardenpark. De aanwezigheid van uitgezette grazers zorgt ervoor dat het gebied niet dichtgroeit. (IVN-Arnhem 2006)

Ondanks de natuurlijke waarden ter plaatse doet het gebied op sommige plaatsen rommelig aan. Het grootse punt van kritiek is de afwezigheid van een duidelijke grens tussen stad en park.

### *Toekomst*

Om het gebied een prettiger aanzicht te geven bestaan er plannen tot herstructurering. De nieuwe functie van het gebied zou een combinatie van recreëren en wonen kunnen zijn. Eerdere plannen van projectbureaus zijn om financiële redenen niet tot uitvoering gekomen. In 2008 hebben planstudies plaatsgevonden. Na besluiten van de gemeente zou de realisatie in 2010 kunnen starten.

Om de verschillende betrokken partijen bij een dergelijk project niet tegen het been te stoten is het van belang een ontwerp te maken dat zoveel mogelijk aansluit bij de heersende wensen. De bewoners van de gemeente kunnen hun ideeën voor de inrichting van het gebied kenbaar maken tijdens georganiseerde inspraakdagen. Een belangrijk aandachtspunt is het respect voor de aanwezige natuur. De woningen moeten in harmonie zijn met de omgeving. Laagbouw verdient de voorkeur boven horizonvervuilende woontorens.

Om een indruk te geven van de huidige situatie en de heersende opvattingen over de bouwplannen zijn op de volgende pagina enkele krantenartikelen met betrekking tot het gebied geplaatst.

### *Probleemstelling case*

In de ontwerpcase wordt gezocht naar een mogelijke vorm van bebouwing in het gebied Stadsblokken-Meinerswijk. Wonen aan het water is populair, daarnaast kan het bouwproject een positieve impuls geven aan het gebied.

Een mogelijk probleem is het effect van de bebouwing op de rivierwaterstand. Het bouwproject moet als gevolg van de bouw en de genomen rivierverruimende maatregelen een netto waterstandsverlagend effect hebben. (Dekker 2005)

Daarnaast zullen er tijdens het ontwerpen problemen ontstaan met betrekking tot de hoge waterstanden. In het ontwerp moet rekening worden gehouden met optredende (water)krachten, een vochtige milieuklasse en overige belastingen.

## Open planvorming voor Stadsblokken Meinerswijk

24 januari 2008

**ARNHEM - De gemeente Arnhem organiseert op zaterdag 26 januari de dag van Stadsblokken - Meinerswijk. Dat is het moment waarop de open planvorming voor het gebied Stadsblokken - Meinerswijk van start gaat.**

Wethouder Cees Jansen verricht om 10.00 uur in het stadhuis de aftrap. Iedereen kan deze dag in het stadhuis een antwoord vinden op vragen over het gebied Stadsblokken - Meinerswijk zelf en over de mogelijkheden om mee te denken over de invulling van het gebied en om de eigen gebruikswensen door te geven

## Grote schoonmaak op Stadsblokken

11 februari 2008

**ARNHEM - Grondeigenaar Phanos heeft opdracht gegeven om de Stadsblokken (het terrein tussen de John Frost- en Mandelabrug) grondig te reinigen. Dinsdag is men met de werkzaamheden begonnen. Maar woensdag werd het een en ander stilgelegd, omdat de gemeente geen vergunning zou hebben afgegeven voor de schoonmaakoperatie.**

Phanos wil het terrein overzichtelijker maken, zodat daklozen het niet zien zitten om daar, zogauw de temperatuur het weer een beetje toelaat, weer te gaan bivakkeren. Op het terrein, waar scheepswerf ASM ooit gehuisvest was, hadden vorig jaar verschillende daklozen een tent of caravan neergezet. Sinds korte tijd wordt het terrein door onbekenden gebruikt om illegaal afval te dumpen. Ook die rotzooi werd afgelopen week afgevoerd. De gemeente zegt geen bezwaar te hebben tegen de schoonmaakactie, maar er moet wel een vergunning voor zijn.

## ‘Echte Meinerswijk-discussie niet gevoerd’

4 maart 2008

**ARNHEM - In het participatieproces Stadsblokken-Meinerswijk wordt de vraag waar het om gaat niet gesteld: moet daar wel of niet gebouwd worden?**

Dat vindt Bart Beukema van de Stichting Waterband. “De belangrijkste discussie blijft onderbelicht. Politiek is dat juist het hete hangijzer.” Stichting Waterband vindt dat tijdens de eerste participatiebijeenkomst, woensdagavond in het Arnhemse stadhuis, onvoldoende is duidelijk gemaakt dat bouwen in Stadsblokken-Meinerswijk geen must is. “Bouwen hóeft niet”, zegt Bart Beukema namens de stichting. “Toch hebben veel mensen het idee dat er geld moet worden verdiend door in het gebied veel huizen te bouwen, of dat er gebouwd moet worden omdat grondeigenaar Phanos dat wil. “Net als iedereen zal ook de projectontwikkelaar zich moeten voegen in de wensen van de stad en daarop gebaseerde democratische besluiten”, aldus Beukema. “Het woord is eerst aan de stad, en dan aan de gemeenteraad.” Het stoort hem dat ‘niet helder wordt dat een alternatief zonder bebouwing ook tot de mogelijkheden behoort’. „Dat lijkt gewoon geen item.” Hij had liever een discussie gezien over wel of niet bouwen in het gebied. Deelnemers aan de bijeenkomst van woensdag werden uitgenodigd om, individueel, met behulp van stickervelletjes een visie voor het gebied te maken. “Maar wie een groen gebied wilde – en dat wilden veruit de meesten – vond op zo’n velletje maar twee groene stickers”, aldus Beukema.

Vanavond om half acht is in het Arnhemse stadhuis de tweede en laatste gelegenheid om ideeën en/of plannen in te dienen voor Stadsblokken en Meinerswijk. Vervolgens worden die uitgewerkt. Hoeveel plannen er tijdens de eerste avond zijn ingediend, kan de gemeente niet zeggen.

## ‘Poppenkast’ of niet, inspraak gaat verder

17 juni 2008

**ARNHEM – ‘Poppenkast’, ‘fopspeen’. VVD en SP hebben geen goed woord over voor het participatieproces voor Stadsblokken en Meinerswijk. Gisteravond in de commissie Stadsprojecten ontspan zich een discussie over wel of niet bouwen in Arnhems groene long.**

Aan de orde was een ‘politieke peiling’ over de eerste fase van het open planproces, die in samenspraak met de Arnhemse bevolking negen denkrichtingen heeft opgeleverd.

Na de zomer moeten die concreter worden, met als doel een ontwikkelingsvisie vóór de jaarwisseling. Duidelijk is dat de burger niet veel voelt voor bouwen in Stadsblokken en nog minder voor bouwen in Meinerswijk. Een meerderheid van de partijen in de Arnhemse raad wil door met het proces, hoewel steeds duidelijker wordt dat ook de voorkeur in de raad gaat naar groen (natuur) en blauw (water) en niet naar rood (bouwen). Ook coalitiepartij PvdA liet zich gisteravond nu in die zin uit. Van GroenLinks (voortrekker van het participatieproces) was al bekend dat straks de groenste variant voor Stadsblokken en Meinerswijk zal worden omarmd.

„Laten we dan nu gewoon vaststellen dat er niet wordt gebouwd in Meinerswijk”, stelde Cris Lenting van de SP voor. VVD’er Bernhard Tilman en Martin van Meurs van Pro Arnhem vielen hem bij. „We moeten de burger geen fopspeen geven”, vindt de laatste.

Het kwam de oppositie op felle woorden van de coalitie te staan. „We moeten niet tijdens het spel de regels veranderen”, aldus Erik ter Meulen van het CDA. Esther Kappert (GroenLinks): „Mijnheer Lenting, u frustreert dit proces!”

## 6.4 Situering woningen

Het gehele gebied Stadsblokken-Meinerswijk beslaat circa 450 hectare. Binnen de grenzen van het gebied zal een exactere locatie gekozen worden om de woningen te situeren. Omdat het om een innovatieve bouwmethode gaat, is het raadzaam om een kleiner aantal woningen te realiseren bedoeld als experiment.

Tijdens het bepalen van de meest geschikte locatie voor de bouw van de woningen moet rekening worden gehouden met een aantal factoren. Zo zijn er op meerdere plaatsen beschermde diersoorten aangetroffen. Tevens beperkt de aanwezigheid van enkele monumenten de keuze van de projectlocatie.

Om inzicht te krijgen in de situatie in het gebied worden hierna enkele gegevens grafisch gepresenteerd. Omdat de kaarten verschillend georiënteerd zijn, is voor de duidelijkheid het oude stadscentrum van Arnhem als vast punt aangegeven met de letter A. Het combineren van de verschillende kaarten zal helpen om de uiteindelijke locatie te kunnen bepalen.

### *Grondbezit*

Het gebied is in handen van drie partijen, te weten Staatsbosbeheer, Vastgoedonderneming Phanos en Gemeente Arnhem.

Het is het meest voor de hand liggend om de woningen te realiseren op de grond van Phanos. Deze onderneming heeft de grond aangekocht met het doel er in de toekomst woningen op te bouwen.

### *Flora en Fauna*

In het projectgebied komen beschermde en bedreigde natuurvormen vormen voor. In beperkte mate is het mogelijk deze planten en dieren te verplaatsen. Het verdient echter de voorkeur om de woningen te bouwen op plaatsen waar geen of nauwelijks beschermde natuursoorten aangetroffen zijn.



Fig. 6.3:  
Grondbezit

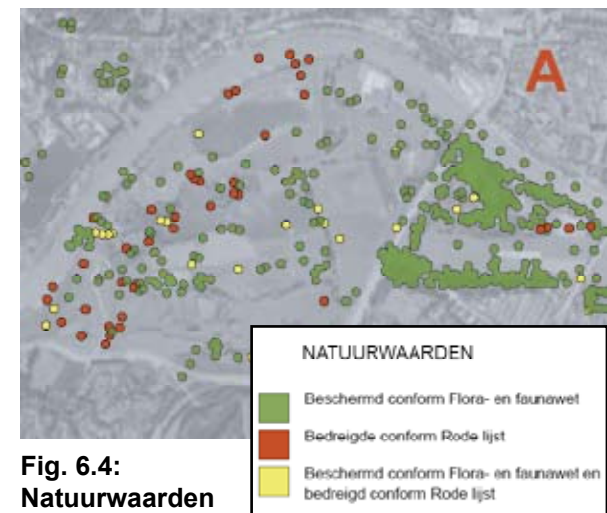


Fig. 6.4:  
Natuurwaarden

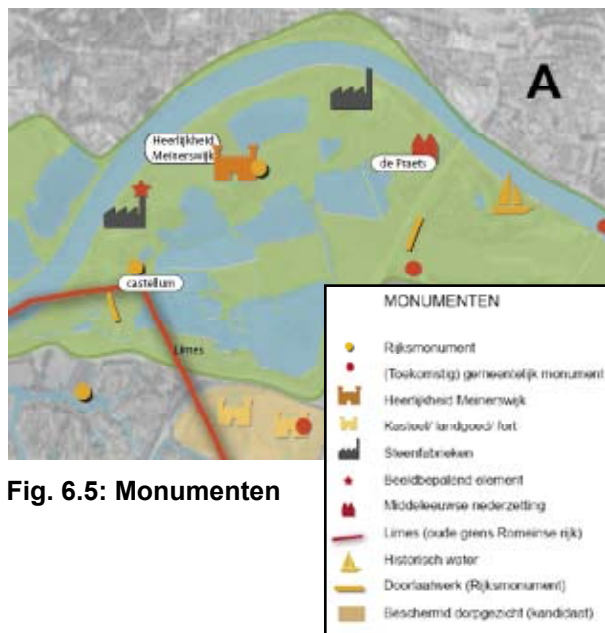


Fig. 6.5: Monumenten

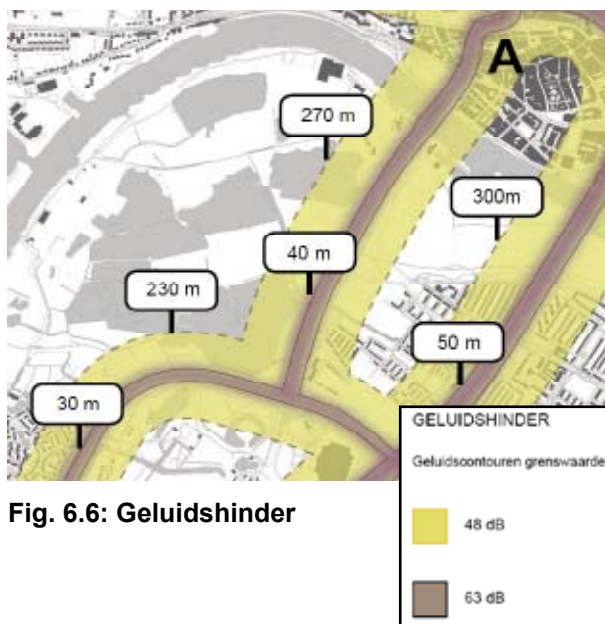


Fig. 6.6: Geluidshinder

## Monumenten

In het projectgebied zijn zowel boven- als ondergronds bouwwerken uit het verleden aanwezig. Indien de bouwwerken op de monumentenlijst staan is het verwijderen ervan nauwelijks mogelijk. De locaties aangegeven in figuur 6.5 dienen daarom vermeden te worden.

## Geluidsniveau

Het geluidsniveau op de gevels van de woningen is van invloed op de woonkwaliteit. Gestreefd wordt naar een gebied met de kwalificatie goed, wat een geluidsbelasting van maximaal 48 dB betekent. Geluidsbelasting hoger dan 63 dB is te allen tijde verboden middels de wet Geluidshinder. (Ruiter, Ginjaar et al. 1979).

Het geluid wordt voornamelijk veroorzaakt door het verkeer. In figuur 6.6 is te zien dat een afstand van ten minste 40 meter van de Eldenseweg gehouden dient te worden.

| Geluidsbelasting<br>Lden (dB) | Ernstig<br>gehinderden (%) | Ernstig<br>Slaapverstoorden (%) | GES-<br>score | Kwalificatie        |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------|
| < 43                          | 0                          | < 2                             | 0             | Zeer goed           |
| 43 – 48                       | 0 – 3                      | 2                               | 1             | Goed                |
| 48 – 53                       | 3 – 5                      | 2 – 3                           | 2             | Redelijk            |
| 53 – 58                       | 5 – 9                      | 3 – 5                           | 4             | Matig               |
| 58 – 63                       | 9 – 14                     | 5 – 7                           | 5             | Zeer matig          |
| 63 – 68                       | 14 – 21                    | 7 – 11                          | 6             | Onvoldoende         |
| 68 – 73                       | 21 – 31                    | 11 – 14                         | 7             | Ruim<br>onvoldoende |
| ≥ 73                          | ≥ 31                       | ≥ 14                            | 8             | Zeer<br>onvoldoende |

Tabel 6.1: GES scores Wegverkeerslawaai 1

Bron: GGD

### Maaiveldniveau

Het maaiveldniveau bepaalt de kans op overstroming op een bepaalde locatie. Naast het aantal keren dat er hoogwater optreedt, is ook het maximale waterniveau afhankelijk van de maaiveldhoogte. Figuur 6.7 geeft een indruk van de mogelijk optredende waterstanden en de bijbehorende overschrijdingskansen. Door grond te verzetten kan het maaiveldniveau aangepast worden en zal de situatie wijzigen.

- Situatie 1: Het niveau van het water is 8.22 m boven NAP.  
Gemiddeld blijft het waterpeil 200 dagen per jaar onder dit niveau.
- Situatie 2: In deze schets is het waterpeil gestegen tot 10.73 m boven NAP.  
Deze situatie komt gemiddeld 10 dagen per jaar voor.
- Situatie 3: Hier is een waterstand weergegeven van 12.74 m boven NAP.  
Een situatie die gemiddeld slechts één keer per jaar voorkomt.  
(Gemeente Arnhem 2007)

Vrijwel het gehele gebied komt meer dan eens per jaar onder water te staan. Om te realiseren dat de woningen slechts eens in de circa 10 jaar in het water komen te staan, is het noodzakelijk het maaiveld plaatselijk te verhogen. Om de hoeveelheid grondverzet te beperken kan dit het beste gedaan worden op de hoogste locaties, de droge gebieden in situatie 3. Ook omdat het verschil in waterstand tussen situatie 1 en 3 ruim 4,5 meter bedraagt, is het nodig de bouwgrond hoger te maken dan het huidige niveau. Dit is toegestaan indien overige delen in het gebied verlaagd worden. Door niveauverschillen aan te brengen kan de waterloop voorspeld worden. Zo wordt het mogelijk om een nevengeul of een 'groene rivier' te creëren.



Situatie 1



Situatie 2



Situatie 3

Fig. 6.7: Waterpeilen



**Fig. 6.8: Geschikte bouwlocaties**



**Fig. 6.9: Uitvergroting strook**

### *Conclusie*

Omdat het in dit project om experimenteel bouwen gaat, is er slechts een kleine hoeveelheid bouwgrond vereist om de woningen te situeren. Door alle eigenschappen van het gebied te combineren is de meest geschikte locatie aan te wijzen.

De strook bovenin figuur 6.8 kan zonder grote problemen bebouwd worden. Wel is het nodig het maaiveld plaatselijk op te hogen. Uitgaande van de beschikbare ruimte op deze locatie is het mogelijk om minimaal 30 experimentele woningen te realiseren. Indien er in de toekomst behoefte is aan grotere aantallen van dergelijke woningen, dan is het mogelijk rondom het meest oostelijke meertje te bouwen. Door geluidsschermen te plaatsen zou ook dicht bij het bestaande wegennet gebouwd kunnen worden. Het voordeel hier is de mogelijkheid tot snellere en eenvoudigere evacuatie.

## 6.5 Technische informatie projectgebied

In deze paragraaf zal technische informatie over het projectgebied verstrekt worden. De gegevens over belastingen, bereikbaarheid en grondgesteldheid zullen in een later stadium aangewend worden om de ontwerpeisen op af te stemmen.

### 6.5.1 Belastingen

Het plangebied ligt op Nederlands grondgebied, waardoor de optredende belastingen met behulp van de NEN-normen bepaald kunnen worden. Aangezien de Nederlandse normen geen expliciete voorschriften bevatten voor overstromingen, wordt hiervoor de informatie uit de Amerikaanse ASCE-norm als richtlijn gebruikt.

*Wind*  
(NEN 6702)

De windbelasting kan bepaald worden aan de hand van onderstaande formule:

$$W_i = A_i * C_i * p_w \quad (6.1)$$

$W_i$  = Windbelasting [kN]  
 $A_i$  = Oppervlak [m<sup>2</sup>]  
 $C_i$  = Windvormfactor [ - ]  
 $p_w$  = Extreme stuwdruk [kN/m<sup>2</sup>]

De extreme waarde van de stuwdruk is afhankelijk van de omgeving en de hoogte van het bouwwerk. Arnhem is gelegen in windgebied III, het project-gebied moet als onbebouwd beschouwen worden. In tabel 6.2 zijn de waarden voor  $p_w$  in onbebouwd windgebied III gegeven.

| h [m]                               | ≤ 3  | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P <sub>w</sub> [kN/m <sup>2</sup> ] | 0.46 | 0.49 | 0.55 | 0.59 | 0.63 | 0.67 | 0.70 | 0.73 |

Tabel 6.2: Extreme waarde stuwdruk

Bron: Tabellenboek Briedé



Fig. 6.10: Windgebieden

### *Sneeuw* (NEN 6702)

De sneeuwlast wordt berekend met  $p_{rep} = C_i \cdot p_{sn,rep}$   
 $p_{sn,rep} = 0.7 \text{ kN/m}^2$   
 $\psi = 0$

Voor daken met een helling  $\alpha < 30^\circ$  geldt  $C_i = 0.8 \rightarrow p_{sn,rep} = 0.56 \text{ kN/m}^2$   
Voor daken met een helling  $30^\circ < \alpha < 60^\circ$  geldt  $C_i = 0.8 \cdot ((60-\alpha)/30)$   
Voor daken met een helling  $\alpha > 60^\circ$  geldt  $C_i = 0$

### *Vloerbelasting* (NEN 6702)

De veranderlijke verticale lasten op de vloeren bedraagt:

Woonruimte:  
 $P_{rep} = 1.75 \text{ kN/m}^2$   
 $\psi = 0.4$

Garage/opslag:  
 $P_{rep} = 2.0 \text{ kN/m}^2$   
 $\psi = 0.8$

### *Water* (ASCE)

Vanwege het ontbreken van gegevens over specifieke belastingen ten gevolge van water(stroming) in de NEN-normen, zullen hiervoor de Amerikaanse ASCE normen aangehouden worden. De krachten ten gevolge van golfslag, stootbelasting en waterdruk zijn terug te vinden op pagina B29 van het literatuuronderzoek, opgenomen als bijlage I.

### 6.5.2 Veiligheid

#### *Veiligheidsklasse*

Voor een woongebouw geldt veiligheidsklasse 3. De referentieperiode bedraagt 50 jaar.

#### *Veiligheidsfactoren*

Voor veiligheidsklasse 3 gelden onderstaande veiligheidsfactoren:

| $\gamma_{f,g}$ (permanente belasting) |         | $\gamma_{f,q}$ (veranderlijke belasting) |
|---------------------------------------|---------|------------------------------------------|
| normaal                               | gunstig |                                          |
| 1.2                                   | 0.9     | 1.5                                      |

### 6.5.3 Overig

#### *Transport bouwstoffen*

Het transport van de benodigde bouwmaterialen kan geschieden over het wegennet of de rivier de Nederrijn. Eventueel afval afkomstig van sloop en graafwerkzaamheden kunnen op eenzelfde manier afgevoerd worden.

#### *Ondergrond*

Zoals uit de historie van het gebied blijkt, bestaat de ondergrond van Stadsblokken-Meinerswijk uit klei. Door aanzanding vanuit de rivier zal een laag slib afgezet zijn. Om de stabiliteit van de woningen ook tijdens waterstromen te kunnen garanderen dienen de woningen op palen gefundeerd te worden.

## 6.6 Ontwerpeisen vloedbestendige woning

Voortvloeiend uit de genoemde belastingen en eigenschappen van het projectgebied kunnen de ontwerpeisen opgesteld worden.

### *Gebruikerseisen*

- Het vloeroppervlak van de woning dient ten minste 150 m<sup>2</sup> te bedragen, waarvan tenminste 100 m<sup>2</sup> gebruikruimte bestemd is voor andere functies dan opslag en parkeren.
- De woning en garage moeten te betreden zijn via de lange zijde van de woning. Eventuele koppeling van woningen zal aan de korte zijde geschieden. Meer informatie over het koppelen van de woningen kan in paragraaf 7.6 gevonden worden.

### *Veiligheidseisen*

- Alle heersende veiligheidseisen voor standaard woningen gelden ook voor de vloedbestendige woningen. Het gaat bijvoorbeeld om eisen betreffende brandveiligheid, vluchtwegen en water-accumulatie.
- De meterkast en overige belangrijke punten in het elektriciteitsnet bevinden zich ten minste op het niveau van de eerste verdieping. Contactdozen op de begane grond dienen zo hoog mogelijk bevestigd te zijn en kunnen met één eenvoudige handeling uitgeschakeld worden.
- De gevel is door de bewoners vanaf de binnenzijde te openen.
- De gevels zijn vanaf de buitenzijde van de woning niet te openen.

### *Constructieve eisen*

- De constructie moet de maximaal optredende krachten kunnen weerstaan zonder te bezwijken of overmatig te vervormen. De maximaal toelaatbare verplaatsingen in de constructie worden gesteld op 1/200<sup>ste</sup> deel van de overspanning of 1/300<sup>ste</sup> deel van de constructiehoogte.
- Materialen die mogelijk in contact komen met water moeten hiertegen bestand zijn. Staal dient gecoat te worden, betonnen elementen moeten voldoende dekking op de wapening hebben.
- (Ongelijke) zettingen zijn ongewenst.

### *Bouwfysische eisen*

- Alle heersende bouwfysische eisen voor standaard woningen gelden ook voor de vloedbestendige woning. Het gaat bijvoorbeeld om eisen betreffende warmte-isolatie, geluidsisolatie en lichtsterkte.
- Koudebruggen in het ontwerp dienen voorkomen te worden.

### *Eisen met betrekking tot waterstroming*

- De begane grondverdieping dient een open structuur te hebben. Tussenwanden, dichte trappen en andere obstakels beletten de doorstroming van het water.
- Leidingen dienen beschermd te worden tegen water en stootbelastingen.

### *Esthetische eisen*

- De woningen hebben een hoogte van maximaal 10 meter.
- Alle woningen hebben hetzelfde aangezicht; overeenkomende vormen en materiaalgebruik.

## 6.7 Evacuatieplan

Om alle handelingen bij (dreigend) hoogwater snel en veilig te kunnen laten verlopen is het nodig om een evacuatieplan op te stellen. Het evacuatieplan beschrijft tevens de situatie tijdens en na het optreden van hoogwater. Dit biedt duidelijkheid aan (potentiële) bewoners van het gebied.

### *Voor de evacuatie*

Een hoge waterstand in de rivier is ruim drie dagen van te voren te voorspellen. De eerste officiële waarschuwing door het waterschap aan de bewoners wordt minimaal 24 uur voor de daadwerkelijke evacuatie gedaan. Mogelijke communicatiemiddelen zijn TV, radio, internet en geluidswagens.

Om de vier uur wordt via verschillende mediakanalen informatie verstrekt betreffende de kans op daadwerkelijke evacuatie en het tijdstip daarvan. Hiervoor zullen speciale radio- en televisiekanalen gebruikt worden.

De laatste waarschuwing wordt gedaan door hulpverleners. Deze zullen er tevens op toezien dat iedereen het gebied tijdig verlaat. De burgemeester kan het vertrek middels een verordening verplichten. De minister van Verkeer en Waterstaat heeft de bevoegdheid een gebied te laten evacueren.

Het verlaten van het gebied gebeurt bij voorkeur met eigen auto. Zo raakt deze direct buiten het overstromingsgebied. Ook zullen er bussen ingezet worden om mensen naar een veilige locatie te vervoeren.

De gevels van de woningen worden geopend door de bewoners of assisterende hulpverleners.

Gas, water en licht dienen voor het vertrek afgesloten te worden. Ramen en deuren worden gesloten.

### *Tijdens de evacuatie*

In gebieden met een inundatiefrequentie van eens in de tien jaar bedraagt de inundatieduur naar verwachting maximaal twee weken.

Tijdens deze periode hebben de bewoners van het gebied de keuze om bij familie te verblijven of in hotels. De gemaakte kosten worden vergoed door de gemeente.

Tijdens hoogwater mag het noodgebied niet betreden worden. Alleen in uitzonderlijke noodgevallen kan de woning bereikt worden met een vaartuig, mits de veiligheid van de opvarenden gewaarborgd is.

Vanwege de ontoegankelijkheid van het rampgebied zal er geen bezorging van post plaatsvinden. Post kan opgehaald worden op het postkantoor of wordt na het hoogwater alsnog bezorgd.

Tijdens de evacuatie zullen de bewoners zich op verschillende plaatsen bevinden, waardoor communicatie bemoeilijkt wordt. Om hen op de hoogte te houden van de laatste ontwikkelingen wordt er informatie beschikbaar gesteld middels telefoon, internet en andere media.

#### *Na de evacuatie*

In de herstelfase worden eventuele beschadigde voorzieningen in het gebied gerepareerd of vervangen. Herstellen van het primaire wegennet heeft de prioriteit.

Na het wegstromen van het water zal er vervuiling in de vorm van slib en puin achterblijven. Openbare ruimten worden gereinigd door een door de gemeente betaald schoonmaakbedrijf.

Om het schoonmaken van woningen te vergemakkelijken dienen zoveel mogelijk gladde bouwmaterialen toegepast te worden.

De opgetreden schade wordt getaxeerd en geclaimd bij verzekeringsmaatschappijen.

De evacuatie wordt geëvalueerd om in toekomstigere situaties eventuele verbeteringen aan te brengen.

#### *Algemeen*

De bewoners van het gebied moeten voorbereid zijn op een mogelijke evacuatie. Het draaiboek is in elke woning aanwezig, evenals een overzichtskaart met de belangrijke handelingen.

Door met enige regelmaat de evacuatie te oefenen zijn de bewoners beter voorbereid. Tevens is dit een goede mogelijkheid om de werking van bepaalde elementen te controleren, bijvoorbeeld het openingsmechanisme van de gevels.

## 6.8 Universele toepassing

Om het concept van de vloedbestendige woning op meerdere plaatsen toe te kunnen passen, zijn in sommige gevallen aanpassingen benodigd. In deze paragraaf zijn deze aanpassingen beschreven, waarmee de universaliteit van het concept vergroot wordt.

### *Stroming*

Indien de woning gebouwd wordt op een locatie waar bij hoge waterstanden geen stroming optreedt, heeft het concept van te openen gevels geen meerwaarde. In stilstaand water zijn de krachten niet zodanig dat een normale woning eronder zou bezwijken. Indien het water aan de binnen- en buitenzijde gelijktijdig stijgt is er geen netto waterdruk. Om dit te realiseren is het creëren van enkele openingen in de gevel een optie. Wel moet er bij de inrichting en materiaalkeuze op de begane grondverdieping rekening gehouden worden met de mogelijkheid tot indringend water.

### *Waterniveau*

In het geplande ontwerp zijn de gevels op de begane grondverdieping te openen. Dit betekent een effectiviteit bij waterhoogtes tot 2,5 meter boven maaiveldniveau. In gebieden met de aanwezige kans dat de waterstand nog hoger wordt, zou alsnog schade op kunnen treden. Een mogelijkheid is het tevens openen van de gevel op de eerste etage. Voor een enkel woonhuis is de aanwezigheid van twee verdiepingen bedoeld voor opslag en parkeren echter overbodig.

In woontorens is het mogelijk de onderste verdiepingen te gebruiken als parkeergelegenheid. Het is aan de ontwerper van het gebouw om te bepalen of de gevels permanent open zijn of alleen in geval van hoogwater. Er kan gekozen worden voor een ander type gevel, omdat er in het geval van een parkeergarage minder strenge eisen worden gesteld aan beschutting en privacy.

Indien de woning wordt gebouwd in een gebied waar de hoogst mogelijke waterstand maximaal 1 meter boven maaiveldniveau is, verdient een andere oplossing de voorkeur. De optredende krachten zijn nu lager, waardoor het openen van de gevel niet noodzakelijk is. Indien dit toch gewenst is, bijvoorbeeld vanwege de vereiste doorstroom in uiterwaarden, kan een openingsmechanisme voor de onderste meter van de gevel toegepast worden. Het toepassen van lamellen of scharnierende gevelelementen behoort tot de mogelijkheden.

### *Inundatiefrequentie*

Indien hoogwater vaker optreedt, is het bewonen van het gebied af te raden. Het concept kan wel toegepast worden voor gebouwen met een andere functie, bijvoorbeeld een verenigingsgebouw.

Patrick Schipper - De toepassing van biomimetica op de woningbouw in overstromingsgebieden

## Referenties

Briedé, K. J. (2000). Tabellen voor Bouwkunde en Waterbouwkunde. Leiden, Spruyt, Van Mantgem & De Does B.V.

Dekker, S. M. (2005). Definitieve lijst Experimenten met aangepast bouwen. Gedeputeerde Staten van Gelderland. Arnhem, Ministerie van VROM: 3.

Gemeente Arnhem (2007). Atlas Stadsblokken Meinerswijk. Arnhem: 54.

IVN-Arnhem. (2006). "Meinerswijk." Retrieved 22-09-2008, from <http://www.ivnarnhem.nl/parken/meinerswijk2.htm>.

Ruiter, J. d., L. Ginjaar, et al. (1979). Wet geluidshinder. Ministeries van 'Justitie' en 'Volksgezondheid en Milieuhygiëne' 64.



## 7. Ontwerp vloedbestendige woning

---

*In dit hoofdstuk staat het ontwerp van een vloedbestendige woning centraal. De ontwerpeisen uit hoofdstuk 6 worden gebruikt voor het ontwerpen van een vrijstaande woning. Aandacht wordt besteed aan de draagconstructie, de verschillende onderdelen van de schuivende gevel en de verdere afwerking en detaillering van het gebouw.*

### 7.1 Afmetingen en indeling

Om gebruik te kunnen maken van standaard bouwelementen wordt ontworpen op basis van een algemene stramienmaat. De maximaal gestelde bouwhoogte van 10 meter beperkt het aantal bouwlagen tot drie. Het totaal vereiste vloeroppervlak van 150 m<sup>2</sup> bepaalt dat de oppervlakte per verdieping minimaal 50 m<sup>2</sup> bedraagt.

Geschikte afmetingen zijn: 10,8 bij 5,4 meter met drie bouwlagen.  
De grondoppervlakte per bouwlaag bedraagt 58 vierkante meter.

#### *Indeling*

De onderste verdieping wordt aangewend voor parkeren en de opslag van goederen. Tevens wordt de entree en de trap naar de eerste verdieping hier geplaatst.

De eerste verdieping omvat de hal, de woonkamer en de keuken. Een vaste trap verschaft toegang tot de tweede verdieping.

Op de tweede verdieping zijn twee slaapkamers, een studeerkamer en de badkamer te vinden.

## 7.2 Bouwmaterialen

De constructie van de vloedbestendige woning zal voornamelijk uit staal en beton bestaan.

### *Dak*

Het platte dak wordt uitgevoerd als warm dak. Platen cellenbeton overspannen in de korte richting. Hierop worden isolatie, een bitumenlaag en tegels als ballast geplaatst.

### *Verdiepingsvloeren*

De verdiepingsvloeren worden uitgevoerd in kanaalplaten, overspannend in de korte richting. De eerste verdiepingsvloer wordt aan de onderzijde geïsoleerd.

### *Begane grondvloer*

De begane grondvloer wordt uitgevoerd in kanaalplaten, overspannend in de korte richting. De kanaalplaten steunen op het onderliggende balkenrooster. Isolatie is niet vereist.

### *Fundering*

De grondgesteldheid vereist dat de woning op palen wordt gefundeerd. Vanwege het wisselende (grond)waterpeil zullen betonnen palen toegepast worden. Een balkenrooster wordt gestort om de oplegging van de kanaalplaatvloer mogelijk te maken.

### *Dragende wanden*

De gevels op de eerste en tweede etage zijn dragend en uitgevoerd in 120 mm dik prefabbeton. Aan de buitenzijde van het casco wordt isolatie en plaatmateriaal als afwerking aangebracht.

### *Scheidende wanden*

De scheidingswanden bestaan uit 100 mm dik cellenbeton. Als afwerking wordt een stuc laag aangebracht.

### *Gevelelementen*

Vanwege de beweging van de gevel is het van belang dat de gevelelementen licht van gewicht zijn. Een geschikte oplossing is het toepassen van sandwichpanelen. Deze bouwelementen bevatten isolatie en hebben een laag gewicht per vierkante meter. Sandwichpanelen bestaan uit één geheel; het binnenblad, de isolatie en het buitenblad zijn gekoppeld. Hierdoor zijn de gevelelementen eenvoudig in zijn geheel op te hijsen.

Voor de gordingen worden stalen C-vormige profielen gebruikt. Deze gordingen zijn ook benodigd als er gevelopeningen zoals vensters of deuren gecreëerd worden.

### *Kolommen*

De kolommen worden uitgevoerd als vierkante stalen kokers. De vlakke zijden zorgen voor een eenvoudige bevestiging van gevelelementen en het openingssysteem. De afmetingen van de koker worden bepaald op het moment dat de optredende krachten bekend zijn.

## 7.3 Constructie-elementen

In deze paragraaf zullen de benodigde dimensies van de constructie-elementen bepaald worden. Hierbij wordt getoetst op de optredende spanningen, de stabiliteit en de vervormingen van de constructie. De bijbehorende berekeningen zijn opgenomen in bijlage IV tot en met IX.

### 7.3.1 Vloeren en dak

Zowel de vloeren als het dak bestaan uit betonnen liggers. Deze overspannen in de korte richting van de woning. De ligger op twee steunpunten heeft een overspanning van 5,40 meter.

Uit gegevens van de producent wordt afgeleid welke dikte voor de platen benodigd is. Uit onderstaande figuren blijkt dat voor zowel het dak als voor de verdiepingsvloeren een dikte van 200 mm voldoende is. Omdat de platen op twee punten opgelegd worden ontstaan er geen steunpunts momenten. Afwijkende wapening is niet benodigd.

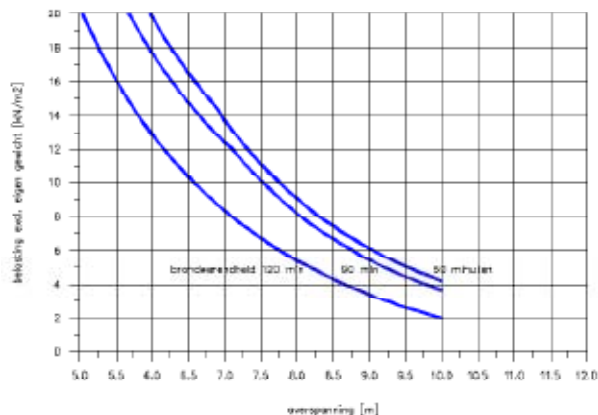


Fig. 7.1: Max. overspanning VBI kanaalplaat 200

Maximaal theoretische plaatlengte (Lth) mm

| Plaatdikte<br>mm | Eigen gewicht<br>kN/m <sup>2</sup> | Standaard belastingssituatie aangevuld met:          |                                          |                                  |                                            |                                        |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|
|                  |                                    | +0,15 kN/m <sup>2</sup><br>dakbedekking<br>+isolatie | +0,25 kN/m <sup>2</sup><br>bijv. plafond | +0,50 kN/m <sup>2</sup><br>grind | +0,75 kN/m <sup>2</sup><br>grind + plafond | +1,00 kN/m <sup>2</sup><br>afschotlaag |
| 100              | 0,72                               | 3300                                                 | 3150                                     | 3050                             | 2900                                       | 2800                                   |
| 125              | 0,90                               | 4100                                                 | 3950                                     | 3800                             | 3650                                       | 3550                                   |
| 150              | 1,07                               | 5000                                                 | 4800                                     | 4650                             | 4500                                       | 4350                                   |
| 175              | 1,25                               | 5650                                                 | 5450                                     | 5300                             | 5100                                       | 4950                                   |
| 200              | 1,43                               | 6300                                                 | 6050                                     | 5850                             | 5700                                       | 5500                                   |
| 240              | 1,72                               | 6750                                                 | 6750                                     | 6750                             | 6750                                       | 6600                                   |
| 300              | 2,15                               | 7400                                                 | 7300                                     | 7150                             | 6950                                       | 6800                                   |

Tabel 7.1: Productinformatie Ytong

Bron: Ytong

### 7.3.2 Kolommen

De woning wordt ondersteund door stalen kolommen. De plaats van de kolommen is weergegeven in figuur 7.2. Er zal gebruik worden gemaakt van vierkante stalen kokerprofielen, waardoor de rails voor het openingsmechanisme eenvoudig middels lassen te bevestigen zijn. Samen met stalen balken vormen de kolommen de draagconstructie zoals die in figuur 7.3 te zien is.

#### Gewichtsberekening

In bijlage IV zijn handberekeningen opgenomen betreffende de krachtsafdracht in de constructie. De maximale kolomkrachten treden op bij een volle belasting van de eerste verdiepingvloer. Voor de belasting op het dak en de tweede verdiepingvloer gelden reducerende momentaanfactoren van respectievelijk 0 en 0,4.

De normaalkrachten in de kolommen ten gevolge van verticale belastingen zijn weergegeven in figuur 7.4. De gegeven grootheden zijn rekenwaarden, dus inclusief veiligheidsfactoren.

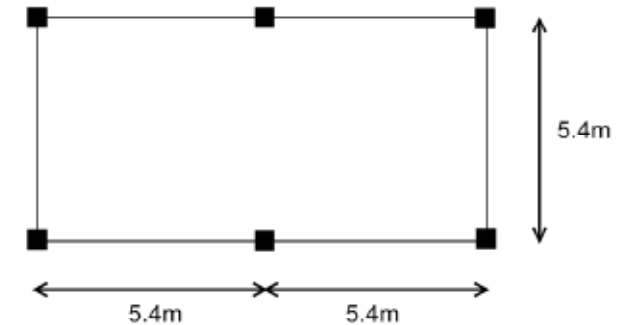


Fig. 7.2: Plaatsing kolommen

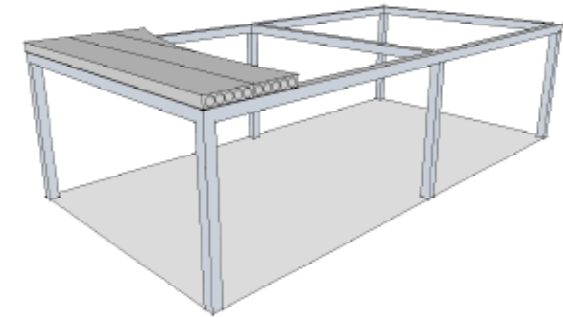


Fig. 7.3: Draagconstructie

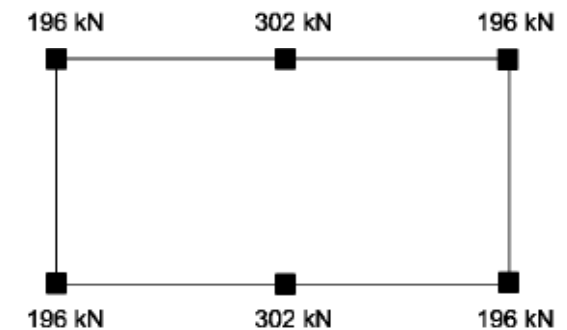
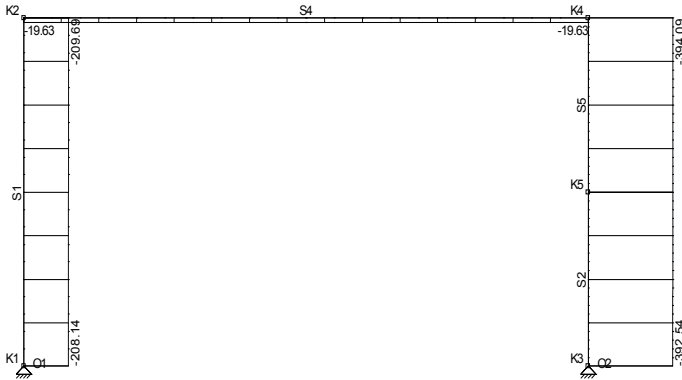
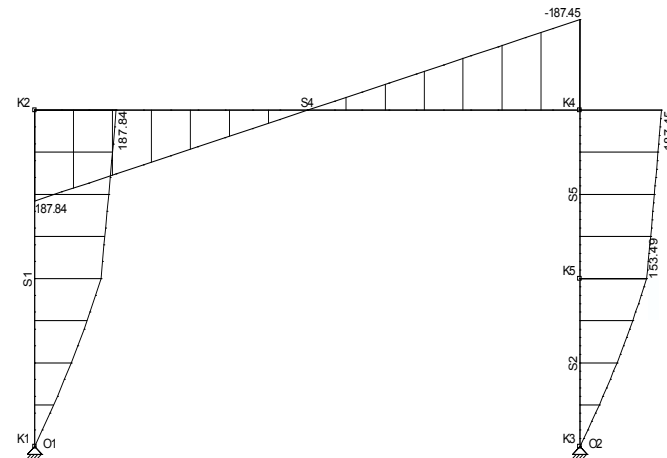


Fig. 7.4: Kolombelasting tgv. verticale lasten



**Fig. 7.5: Normaalkrachten**



**Fig. 7.6: Momenten**

### Afdracht windlasten

Behalve verticale belastingen hebben ook horizontale windbelastingen invloed op de normaalkrachten in de kolommen. De stabiliteit van de staalconstructie wordt ontleend aan de vormvastheid van de portalen. Door de liggers en kolommen momentvast te verbinden zijn er geen windverbanden in de vlakken benodigd. Windverbanden zouden de doorstroom van het door het water meegevoerd puin kunnen bemoeilijken. Tevens zouden de windverbanden kunnen bezwijken door de optredende stootbelasting, waardoor de stabiliteit van de constructie niet meer gewaarborgd zou zijn.

In een raamwerkprogramma zijn de staafkrachten en oplegreacties ten gevolge van de windlasten berekend. Het programma rekent met tweede-orde effecten; om deze reden zijn ook de verticale lasten ingevoerd. De gehele berekening is terug te vinden in bijlage VI.

De uitkomst van de berekeningen laten zien dat de middelste twee kolommen het zwaarst belast worden. De grootste krachten treden op bij een geopende gevel die op de lange zijde belast wordt door water en wind. Hoewel de momentaanfactor voor wind de waarde 0 heeft, is er toch uitgegaan van een extreme belastingssituatie van gelijktijdig optredende wind en waterstroming. Dit is gedaan omdat hoogwater vrijwel altijd gepaard gaat met storm.

Figuren 7.5 en 7.6 laten de omhullenden van de rekenwaarden voor de normaalkrachten en de momenten zien. Halverwege de kolom treedt een combinatie op van maximaal 393 kN normaalkracht en 153 kNm moment. De overige resultaten zijn terug te vinden op pagina B65 van de bijlagen.

### Dimensionering kolommen

Aan de hand van de verkregen gegevens kunnen de dimensies van de kolommen bepaald worden. Er moet worden voldaan aan eisen betreffende de staalspanning, de stabiliteit en de vervormingen. De uitgevoerde berekeningen zijn terug te vinden in bijlage VII.

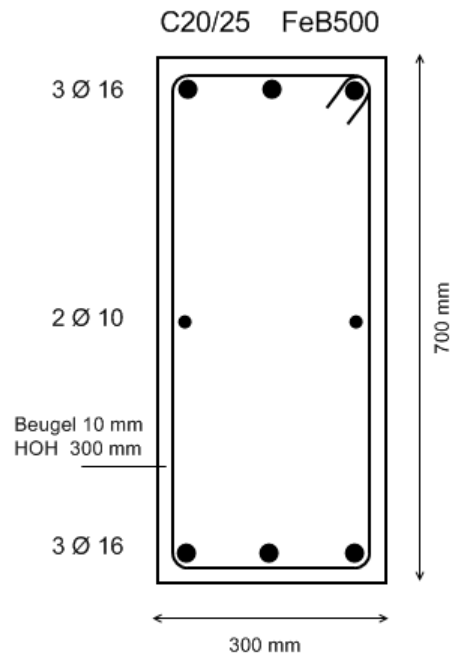
De vervorming van de constructie bleek de maatgevende factor te zijn. Vanwege de bevestiging van de rails aan de kolommen is gesteld dat de verplaatsingen van de staalconstructie maximaal 1/300<sup>ste</sup> deel van de hoogte mogen bedragen. De verplaatsingen zijn berekend in een 3D-raamwerkprogramma. De aanleiding en de resultaten zijn beschreven in bijlage VII.

De berekeningen laten zien dat een stalen kokerprofiel van 300 x 300 mm met een wanddikte van 16 mm het lichtste profiel is dat aan alle eisen voldoet.

### **7.3.3 Liggers**

De kolommen zijn gekoppeld door horizontale balken. Deze balken dragen de kanaalplaten van de eerste verdiepingsvloer. Tevens steunen de dragende gevels op deze balken. Voor de liggers worden HEA300 profielen gebruikt. Deze hebben een voldoende groot traagheidsmoment om de vervormingen van het portaal binnen de vereiste grenzen te houden. Daarnaast heeft dit profiel een breedte van 300 mm; gelijk aan de kolombreedte. Dit levert voordelen op in de detaillering en afwerking.

Dat de ligger voldoet aan de eisen betreffende de staalspanning, de stabiliteit en de vervormingen blijkt uit de berekeningen in bijlage VIII.



**Fig. 7.7: Wapening funderingsbalk**

### 7.3.4 Fundering

De palen waarop de woning gefundeerd wordt bevinden zich exact onder de kolommen. Naast de krachten uit de kolommen moeten de funderingspalen ook de belastingen opnemen die optreden op de begane grond verdieping. Deze krachten worden veroorzaakt door het gewicht van de funderingsbalken, het gewicht van de vloerplaten en de veranderlijke belasting op de vloer.

#### *Funderingsbalken*

De funderingsbalken ondersteunen de kanaalplaten van de vloer. Deze platen zullen een lijnlast ( $q$ ) op de funderingsbalken uitoefenen. Daarnaast heeft het eigen gewicht van de funderingsbalk een aandeel in de ontwerpbelasting. Als eerste aanname is een balk van 300 mm breed en 700 mm hoog aangenomen. Dit is voldoende om de vorstgrens te bereiken. Tevens is door deze relatief diepe balk de kans op erosie en onderstroom van het water gereduceerd.

Vanwege de overdimensionering van de hoogte van de balk kan er worden volstaan met een lagere betonsterkte. Het toepassen van C20/25 beton is qua prijs voordelig. De vereiste wapening is berekend in bijlage IX. Figuur 7.7 toont de toegepaste wapening. De staalkwaliteit is FeB500.

#### *Funderingspalen*

De palen worden belast door de kolomkrachten en de lasten op en door de begane grondvloer. De maximale optredende druk in de palen is 544 kN. Afhankelijk van de bodemgesteldheid zal een vierkante prefab-paal van 220 mm breed waarschijnlijk volstaan. De lengte is afhankelijk van de bodemgesteldheid. Deze kan bepaald worden door sonderingen uit te voeren.

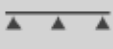
## 7.4 Gevels

De gevels moeten bij (dreigend) hoogwater omhoog te schuiven zijn. De volgende eisen worden aan het openingssysteem gesteld:

- De gevels zijn alleen vanaf de binnenzijde te openen.
- Het openen geschiedt door de uitgeoefende spierkracht van één persoon.
- (Onbewuste) sabotage van het systeem door bewoners of anderen moet voorkomen worden.
- Het sluiten van de gevel mag eventueel de hulp van derden of machines vereisen.

Een lichte uitvoering van de gevel is noodzakelijk om deze met een beperkte hoeveelheid energie te kunnen openen. Sandwichpanelen zijn lichte en complete bouwelementen. Deze sandwichpanelen bestaan uit één geheel; het binnenblad, de isolatie en het buitenblad zijn gekoppeld. Hierdoor zijn de gevelelementen eenvoudig op te hijsen bij dreigend hoogwater.

Uitgaande van een verticale overspannende richting van 3.0 meter kunnen panelen van het type RockPro WF 60.1150 toegepast worden (Tabel 7.2). Deze panelen hebben een isolatiewaarde van  $1.35 \text{ m}^2\text{K/W}$  en een brandwerendheid van 30 minuten (SAB-profiel). Het gewicht bedraagt  $18.0 \text{ kg/m}^2$ . De beweegbare segmenten hebben een oppervlakte van  $5,4 \times 3.0 = 16.2 \text{ m}^2$ . Rondom worden gordingen aangebracht: 16.8 meter SAB C-140-2 profiel (78 kg). Het totale gewicht dat per segment omhoog moet worden gebracht is  $(16.2 \times 18.0 + 78) \times 1,2 = 440 \text{ kg}$ , inclusief veiligheidsfactoren.

| RockPro WF 60.1150<br>Onbebouwde omgeving    Veiligheidsklasse 3<br>Gebouwhoogte < 9m - gesloten gebouw - doorbuiging L/150 |            |                                       |                                       |                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| LL / MBL / M16L / GL                                                                                                        |            |                                       |                                       |                                       |
| Aantal velden                                                                                                               | Kleurgroep | Gebied 1<br>(1,12 kN/m <sup>2</sup> ) | Gebied 2<br>(0,94 kN/m <sup>2</sup> ) | Gebied 3<br>(0,77 kN/m <sup>2</sup> ) |
|                                          | 1          | 3,47                                  | 3,79                                  | 4,19                                  |
|                                                                                                                             | 2          | 3,47                                  | 3,79                                  | 4,19                                  |
|                                                                                                                             | 3          | 3,47                                  | 3,79                                  | 4,19                                  |
|                                          | 1          | 3,21                                  | 3,21                                  | 3,21                                  |
|                                                                                                                             | 2          | 3,21                                  | 3,21                                  | 3,21                                  |
|                                                                                                                             | 3          | 2,85                                  | 2,85                                  | 2,85                                  |
|                                          | 1          | 2,98                                  | 2,98                                  | 2,98                                  |
|                                                                                                                             | 2          | 2,98                                  | 2,98                                  | 2,98                                  |
|                                                                                                                             | 3          | 2,46                                  | 2,46                                  | 2,46                                  |

Tabel 7.2: Maximale overspanning sandwichpaneel

Bron: SAB-profiel

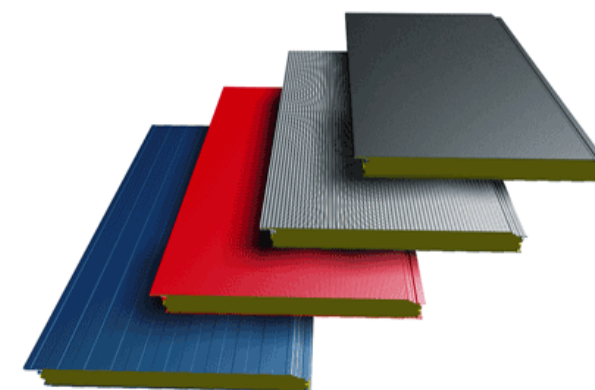


Fig. 7.8: Assortiment RockPro

### 7.4.1 Beweging

In deze paragraaf zijn verschillende mechanieken beschreven om de gevelelementen omhoog te bewegen.

#### *Mogelijkheden*

- Permanente drijflichamen.
- Opblaasbare drijflichamen.
- Systeem met contragewicht.
- Hydraulische krik/hefboom.
- Krachtsoverbrenging door middel van een draaiende as in combinatie met een orollende trekkabel.
- Krachtsoverbrenging door middel van een tandheugel. Een tandheugel zet een draaiende beweging om in een rechte beweging.



Fig. 7.9: Tandheugel

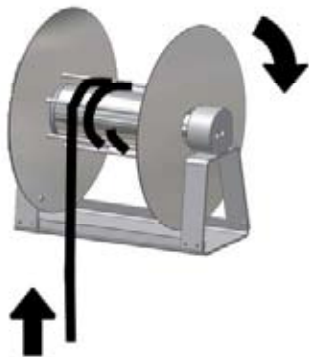


Fig. 7.10: Haspel

#### *Afweging*

De eerste twee varianten maken gebruik van de wet van Archimedes. Indien een voldoende groot drijflichaam zich onder water bevindt wordt het gekoppelde gevelement omhoog gestuwd. Een kubieke meter drijflichaam levert een maximale stuwkracht van 10 kN. Het nadeel van een dergelijk systeem is dat het pas in werking treedt bij reeds aanwezige hoge waterstanden. De gevel blijft niet droog en wordt wel (dynamisch) belast. Preventief openen is niet mogelijk.

De gevelelementen moeten geopend worden tegen de zwaartekracht in. Door een contragewicht te gebruiken wordt juist gebruik gemaakt van de zwaartekracht. Een simpel systeem met kabels en katrollen kan de werklijn van de zwaartekracht omzetten, waardoor ophijzen van de gevel mogelijk wordt. Met dit systeem kan de gevel preventief geopend worden. Een nadeel is de zichtbaarheid van het systeem, met name door de afmetingen van het contragewicht.

Een draaiende beweging kan via tandwielen of rolling omgezet worden in een rechte beweging. De mechanieken zijn afgebeeld in de figuren 7.9 en 7.10.

De draaiende beweging kan opgewekt worden door een motor of spierkracht. Het voordeel van laatstgenoemde is de afwezige noodzaak van het gebruik van stroom of brandstof. Tevens is de aanschaf en het onderhoud van een handmatig systeem goedkoper. Een voordeel van een geautomatiseerde rotatie is de mogelijkheid tot bediening op afstand.

Een andere mogelijkheid is het omhoog duwen van de gevel. Dit kan geschieden door middel van een krik of hefboom. Het gebruik van kabels en katrollen is niet nodig. Het nadeel van een dergelijk systeem is het feit dat de mechaniek zich in geval van hoogwater onder de waterspiegel bevindt. De (dynamische) waterbelasting kan nadelige invloed hebben op de werking van het mechanisme, waardoor de veiligheid afneemt.

### Conclusie

De betrouwbaarheid van een openingssysteem is cruciaal. De faalkans van het toe te passen systeem moet minimaal zijn. Daarom moeten de onderdelen van het openingssysteem goed beschermd zijn, bijvoorbeeld tegen weersinvloeden en waterkrachten. Een bevestiging van het openingsmechanisme aan de binnenzijde van de woning en boven het maximaal te verwachten waterniveau is gunstig. Daarnaast dient het mechanisme simpel en onderhoudsarm te zijn.

Een mechanisme met een lier voldoet aan bovenstaande eisen. De lier wordt handmatig bediend met een zwengel en is geplaatst tegen het plafond van de begane grond. Om de gevel over de gehele hoogte van een verdieping te kunnen bewegen, moet het mogelijk zijn om voldoende meter trekkabel in te halen. Een bevestiging als in figuur 7.11 maakt dit mogelijk.

### Details

- De zwengel is voorzien van een terugloopbeveiliging. Dit betekent dat de last vergrendeld wordt na elke beweging; de kabel en het gevelelement lopen niet terug.
- Vanwege het vochtige klimaat zal een RVS staaldraad toegepast worden.
- Het staaldraad wordt vastgezet zodat deze niet door bewoners te verplaatsen of te verwijderen is.
- De zwengel bevindt zich op enige afstand van de gevel aan het plafond. Zo is de kans het kleinst dat deze onbereikbaar wordt, bijvoorbeeld door de plaatsing van een kast.
- De arm van de zwengel wordt eventueel verlengd, zodat bediening vanaf de vloer mogelijk is.
- Uit productgegevens blijkt dat een handmatige lier een hefvermogen tot 1000 kg kan genereren. (Vink Lisse B.V.) Dit is voldoende voor deze toepassing. Indien een hogere kracht vereist wordt kan gebruik gemaakt worden van een trekapparaat als in figuur 7.12.

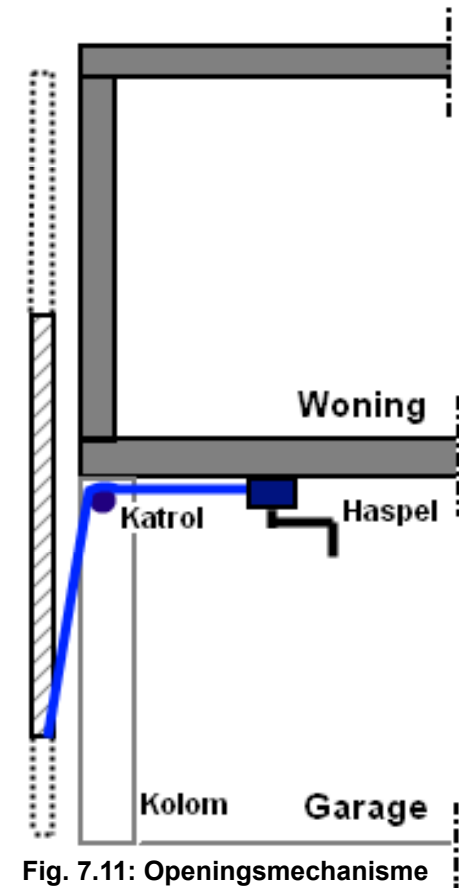


Fig. 7.11: Openingsmechanisme



Fig. 7.12: Spansysteem staaldraad

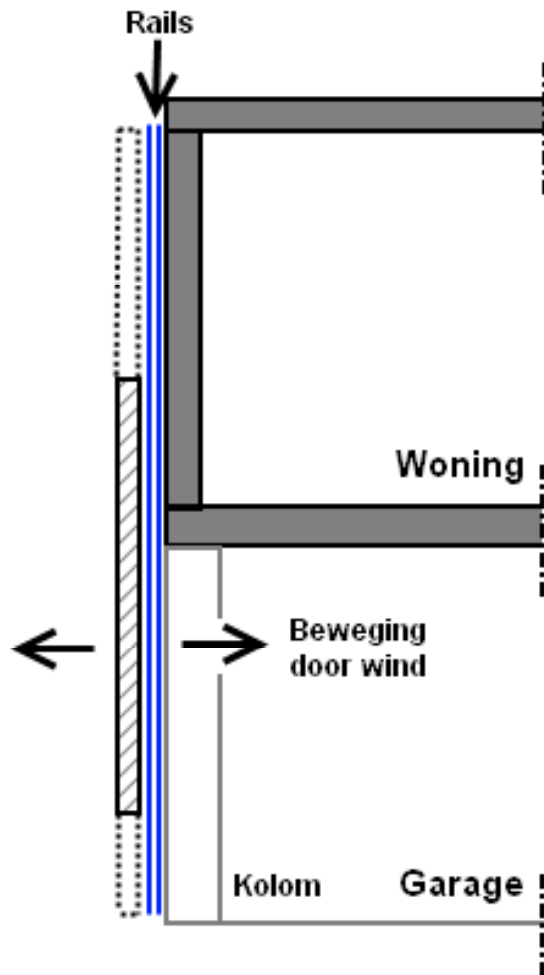


Fig. 7.13: Geleidende rails

#### 7.4.2 Geleiding

De verticale beweging van het gevelelement kan gestuurd worden door het element over een rails te geleiden. De rails dient tevens om de horizontale belastingen op het gevelelement over te brengen op de constructie.

De rails dient bevestigd te zijn over de gehele hoogte waarover het gevelelement kan verplaatsen; twee verdiepingshoogtes. Op de begane grondvloer wordt de rails aan de kolommen bevestigd. Op het niveau van de eerste verdieping wordt de rails bevestigd aan de dragende gevel.

De rails moet verhinderen dat het gevelelement te veel kan verplaatsen in horizontale richting. Doordat zowel winddruk als windzuiging op kan treden moet de rails de horizontale beweging in beide richtingen verhinderen.

Door een HE-profiel te gebruiken kan één profiel als rails voor twee gevelelementen toegepast worden. Een van de flenzen wordt gebruikt om het profiel te bevestigen aan de vaste constructie, de andere flens wordt gebruikt als geleidende rails. In figuur 7.14 is te zien op welke manieren het gevelelement geleid kan worden langs de lengte van het HE-profiel.

In beide gevallen is er gebruik gemaakt van rollers. In de linker situatie is de flens ingeklemd tussen twee rollers. In de situatie rechts loopt de roller over het zijvlak van de flens. Verbredingen aan de roller zorgen voor de inklemming van de flens. In beide gevallen is de horizontale verplaatsing beperkt en is de verticale beweging vrij. In de situatie rechts kan de verticale beweging echter bemoeilijkt worden door de zijdelingse wrijving tussen de roller en de flens. Om deze reden zal het geleidingssysteem uitgevoerd worden zoals dat rechts in de figuur uitgebeeld is.

De rollers worden geplaatst op een onderlinge afstand van 700 mm. De belasting per paar bedraagt maximaal:  $F = b \cdot h \cdot P_w \cdot C_i = 2.7 \cdot 0.7 \cdot 0.7 \cdot 1.1 = 1450 \text{ N}$ .

Per roller is dit 725 N, wat geen problemen qua afschuiving of buiging van de as op zal leveren.

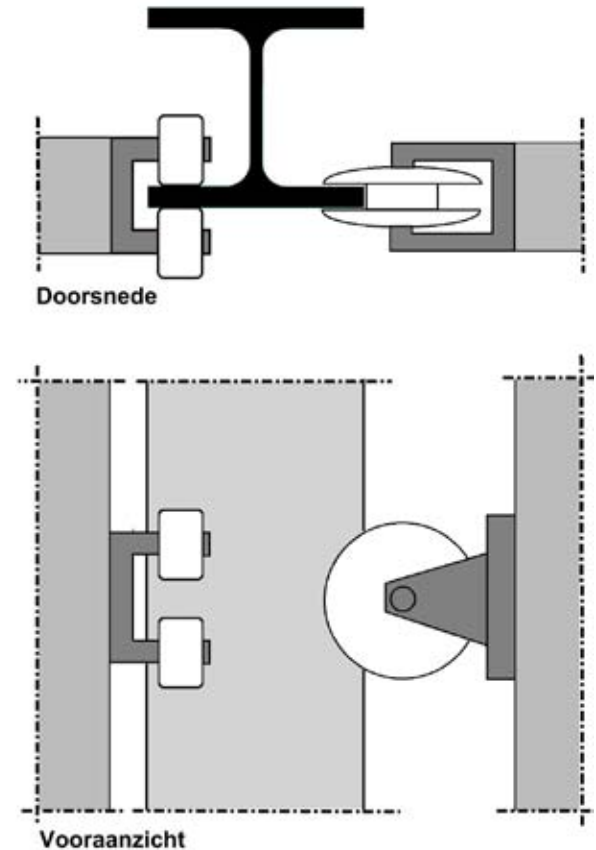


Fig. 7.14: Twee geleidingssystemen

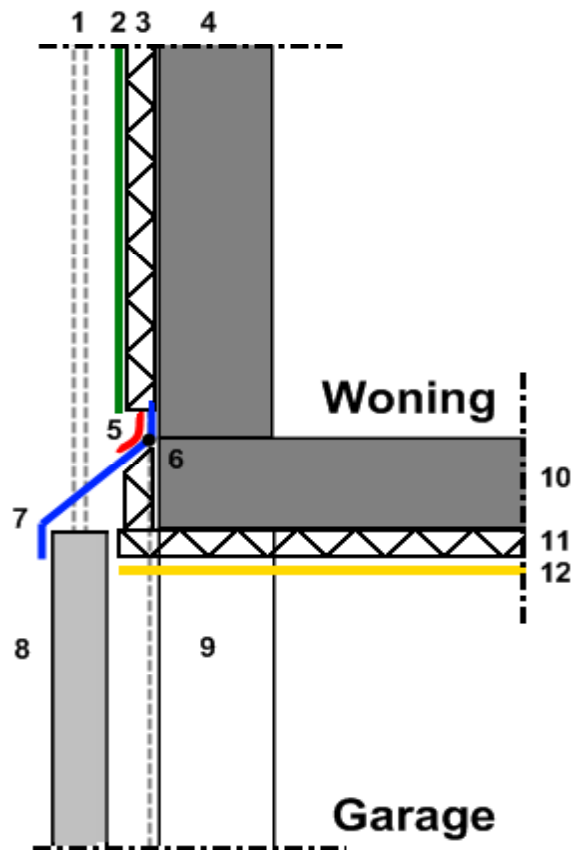


Fig. 7.15: Detail

Legenda:

1. Flens HE-profiel (rails)
2. Waterkerende laag
3. Isolatie
4. Dragende gevel
5. Rubber strip
6. Scharnier
7. Aluminium profiel
8. Sandwichpaneel
9. Kolom
10. Kanaalplaatvloer
11. Isolatie
12. Aftimmering

## 7.5 Detaillering en afwerking

Vanwege de afwijkende eigenschappen van de vloedbestendige woning zullen er ook in de detaillering van de constructie afwijkingen voorkomen. De beweging van de gevelelementen heeft consequenties voor de aansluitingen. Een gevel heeft meerdere functies, waaronder het creëren van een barrière en het afschermen van het buitenklimaat. Om bewoners en inrichting te beschermen tegen weersinvloeden moet de gevel in staat zijn extreme temperaturen en (hemel)water buiten te houden.

### *Waterdichtheid gevel*

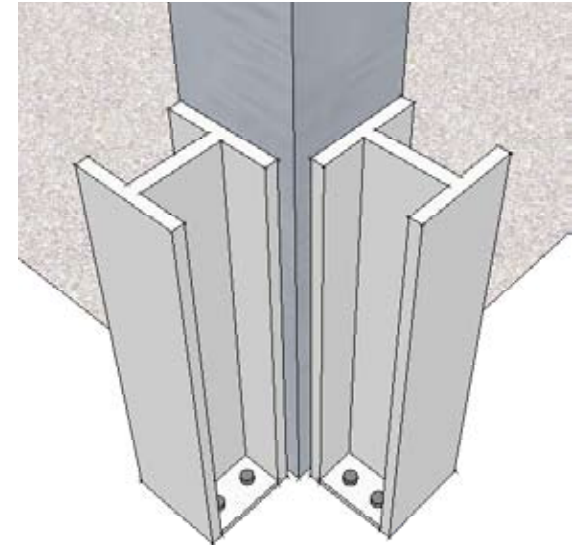
Het waterdicht maken van de gevel vereist extra aandacht ter plaatse van de overgang van de begane grond naar de eerste verdieping. Hier gaat de vaste gevel over in beweegbare elementen. De aanwezige opening moet zodanig afgedekt worden dat de beweging van de gevelelementen er niet door wordt gehinderd. De gevel moet te openen zijn zonder extra handelingen. Aansluitingen die verwijderd moeten worden kunnen problemen en tijdverlies tijdens het openen opleveren.

Door een scharnierende aansluiting te realiseren kan de hierboven beschreven situatie bereikt worden. In figuur 7.15 is te zien hoe de afsluiting van de opening is uitgevoerd.

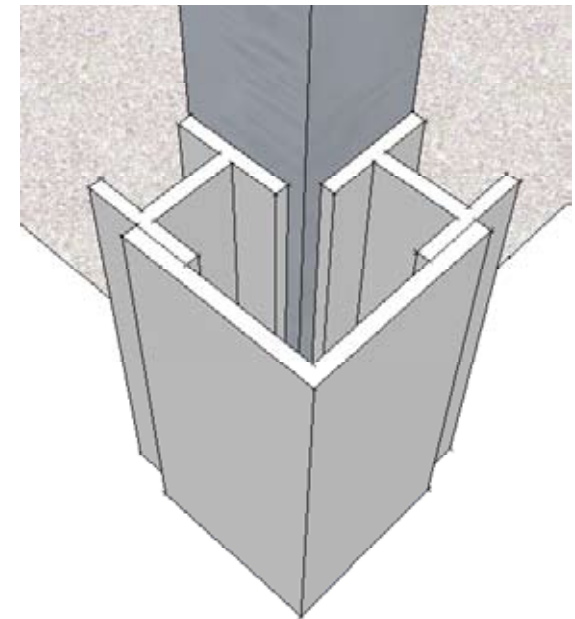
- Door het aluminium profiel enkele centimeters door te laten lopen ter plaatse van de sandwichpanelen kan voorkomen worden dat de wind eronder slaat.
- Over de breedte van de gevel wordt ter plaatse van de scharnieren een rubberen strip aangebracht om waterindringing te voorkomen.
- Er moet rekening worden gehouden met de extra kracht die vereist is om het profiel omhoog te klappen tijdens het openen van de gevel.

### *Hoekprofielen*

De HE-profielen zorgen op de hoeken van de woning voor een open hoek, zie figuur 7.16. Deze voeg is vatbaar voor ophoping van vocht en vuil. Door een hoekprofiel te plaatsen zijn deze problemen verholpen en is tevens het aanzicht verbeterd. Ook de bovenzijde wordt afgesloten met een stalen plaat.



**Fig. 7.16: Open hoek**



**Fig. 7.17: Gesloten hoek**

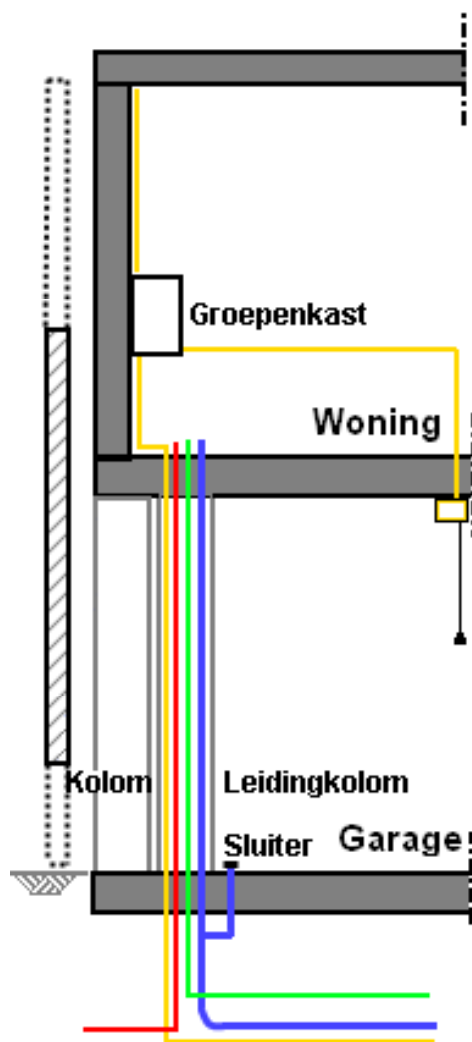


Fig. 7.18: Leidingkolom

### *Leidingkolom*

De woning is door middel van leidingen aangesloten op diverse netwerken. Zo zijn er aansluitingen voor elektriciteit, water, gas, telefonie en radio/tv. Deze netwerken bevinden zich grotendeels ondergronds. In de woning zullen deze aansluitingen nodig zijn in de verblijfsruimtes; op de eerste en tweede verdieping. Vanwege het mogelijke hoge water moet er extra aandacht worden besteed aan de verbinding tussen het ondergrondse netwerk en de eerste verdieping. De leidingen moeten bestand zijn tegen water. Tevens is er kans op beschadiging door meestromende drijvende objecten aanwezig.

Om schade te voorkomen worden de leidingen beschermd. Dit wordt gedaan door de leidingen door een stalen kolom te leiden. Deze kolom moet te openen zijn om onderhoud te kunnen plegen. Deze mogelijkheid tot openen verzwakt de kolom zodanig dat deze niet als dragend element toe te passen is. Bij een vaste stroomrichting wordt de leidingkolom geplaatst in de luwte van een constructieve kolom. Hierdoor neemt de kans op stootbelasting af.

### *Ondergrondse leidingen*

Alle leidingen die zich onder maaiveld bevinden moeten zodanig ingegraven zijn dat ze ook na het optreden van stroming en gronderosie niet onbeschermd aan het oppervlak verschijnen. De ingraafdiepte zal enkele decimeters dieper zijn dan in binnendijkse gebieden.

### *Elektriciteitsnet*

De aansluiting van de woning op het lichtnet loopt via de leidingkolom. De bedrading komt de woning binnen op de eerste verdieping. Door de groepenkast op dit hoogteniveau te plaatsen blijft deze buiten het bereik van het water.

Alle contactdozen op de begane grondvloer zijn op één groep aangesloten, waardoor deze eenvoudig in één handeling uit te schakelen zijn. De bedrading wordt zo hoog mogelijk aangebracht. Lichtschakelaars worden tegen het plafond bevestigd en zijn te bedienen middels een koord. Zie ook figuur 7.18.

### *Riolering*

Vrijwel alle sanitaire voorzieningen in de woning bevinden zich op de eerste verdieping of hoger. Hierdoor is het mogelijk een gezamenlijke afvoer door de leidingkolom te realiseren. De enige aansluitpunten op de begane grondvloer zijn de afvoeren van witgoedapparaten. Deze worden onder de vloer op de riolering aangesloten. De afvoeren op de begane grond zijn af te sluiten (figuur 7.18), waardoor een drukriolering ontstaat. Terugloop van rioolwater naar de woning in is nu uitgesloten. Een bijkomend voordeel van een drukriolering is de mogelijkheid tot drainage van het gebied, waardoor de toegankelijkheid toeneemt. (Puyan 2007)

## 7.6 Koppeling van woningen

### *Inleiding*

Het gemaakte ontwerp is gericht op een vrijstaande woning. Indien de wens bestaat om woningen te koppelen tot een woonblok dan zijn er enkele aanpassingen vereist. De woningen zullen aan de korte zijde worden gekoppeld. Om deze reden zijn in het ontwerp de woning en de garage alleen te betreden via de lange zijde van de woning.

### *Tussenmuren*

Indien twee woningen gekoppeld worden ontstaat er een gezamenlijke tussenmuur. In dit geval kan deze muur niet opgehaald worden middels het systeem dat gebruikt wordt voor de gevels. Doordat er geen ruimte is om de tussenmuur omhoog te schuiven zal er een ander openingsmechanisme toegepast worden om deze tussenmuur te openen tijdens hoge waterstanden. In tegenstelling tot in het geval van de buitenmuren zijn hier de esthetiek, herbruikbaarheid en de mogelijke gevelopeningen van ondergeschikt belang.

Het aantal scheidingswanden dient zo beperkt mogelijk gehouden te worden. Alleen de afscheiding tussen de entree/trap en de garage is om esthetische redenen gewenst. Het openingssysteem moet universeel toepasbaar zijn voor de wanden, ongeacht de afmeting of plaatsing. Hiervoor zullen break-away gevels toegepast worden. Lichte scheidingswanden, bestaand uit bijvoorbeeld gipsplaten, zullen bezwijken onder de waterdruk. Na het wegtrekken van het hoge water is herstel van de materialen vereist, dit vertraagt echter niet de terugkeer van de bewoners.

## 7.7 Presentatie woning

In deze paragraaf zal de woning gepresenteerd worden door middel van visualisaties. Aan het einde van deze paragraaf is een brochure opgenomen. Hierin worden de eigenschappen van het project en de ontworpen woning opgesomd. De brochure vormt een samenvatting van de ontwerpcase.

### *Naam project*

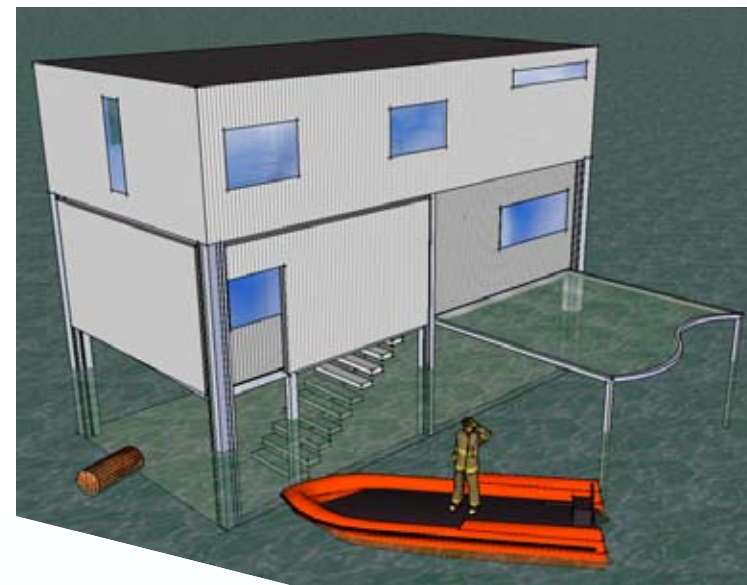
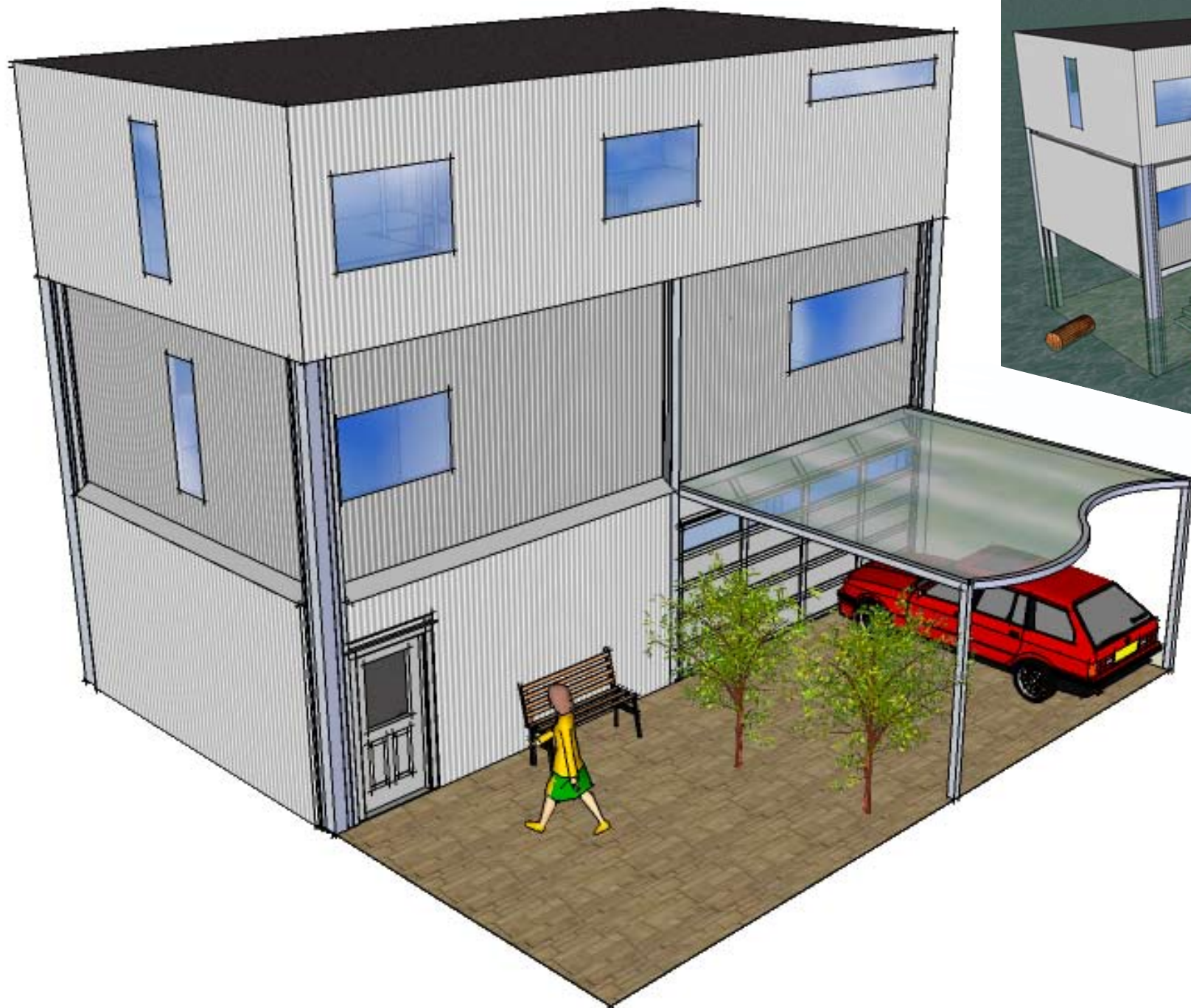
Aan het project is de naam '**Florere**' verbonden.

Dit is een samentrekking van de Engelse woorden **Flood** **resistant** **reside**: 'Vloed bestendig wonen'. Tevens komt het woord 'florere' voor in de Latijnse taal, waar het opbloeien betekent.

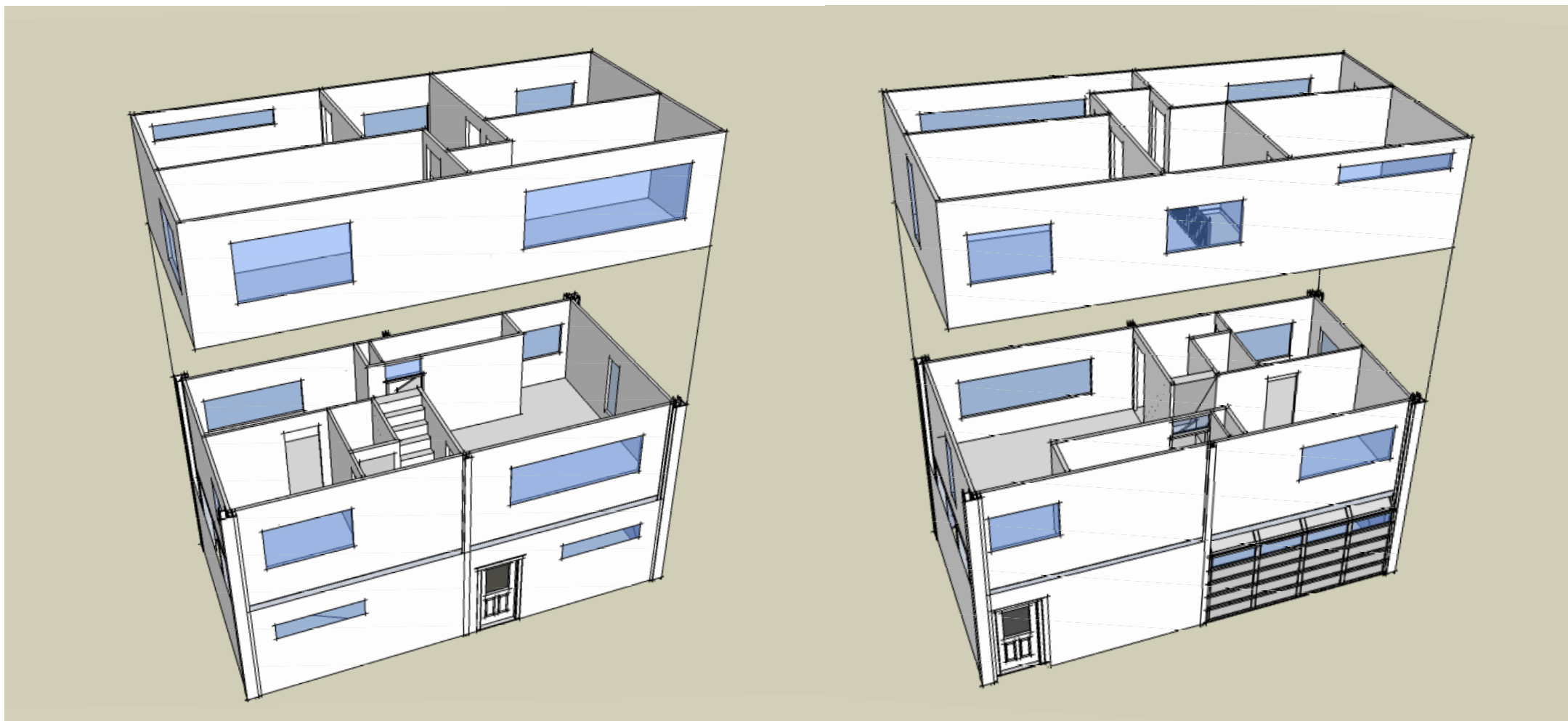


Fig. 7.19: Drie woningen in de Meinerswijk







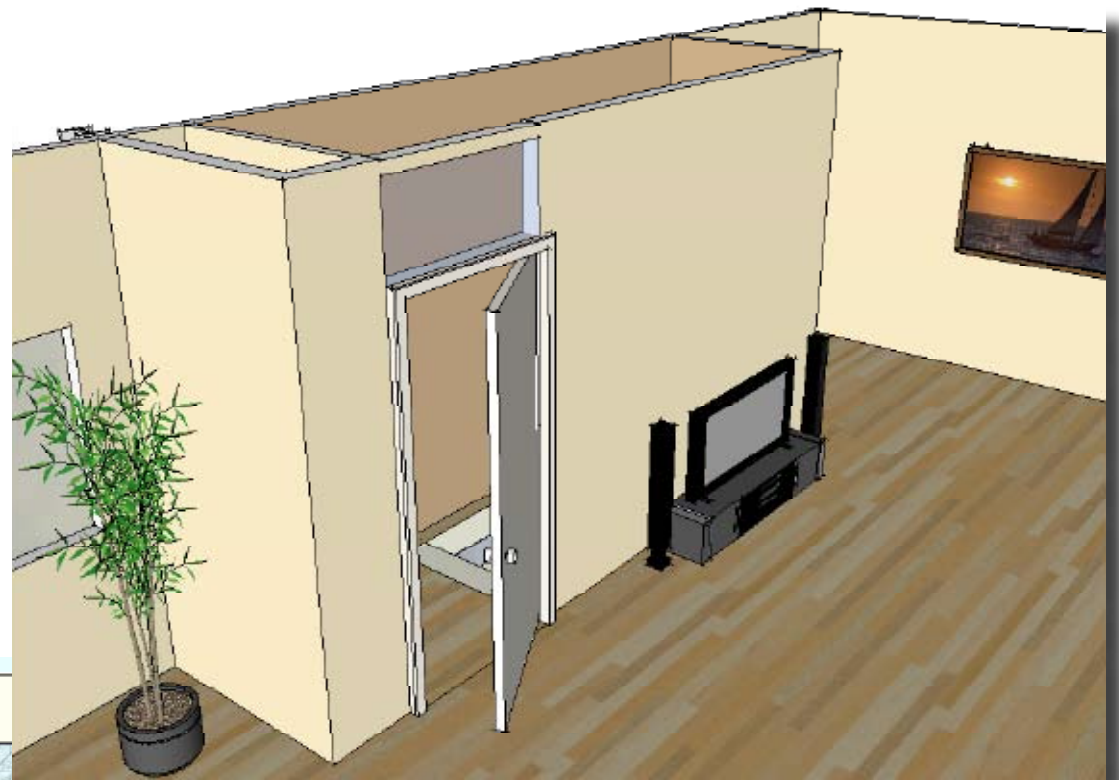




## IMPRESSIE Eerste verdieping woonkamer & entree

De woonkamer is voorzien van een breed venster. Dit venster verschaft uitzicht over de rivier de Nederrijn en de daar achter gelegen bebouwing van Arnhem.

De muren rondom de entree zijn geïsoleerd. De deur is voorzien van een slot om ook in geval van geopende gevels afsluiting van de woning mogelijk te maken.





## IMPRESSIE Tweede verdieping studeerkamer en overloop

Net als de woonkamer is ook de studeerkamer voorzien van een breed venster. De ruimte is eventueel als derde slaapkamer in te richten.

Het venster op de overloop zorgt voor de toetreding van daglicht. Er wordt uitzicht verschaft over het natuurgebied in de Meinerswijk.



# FLOREERE

## ‘Wonen met water’

*Water intrigeert. Water trekt mensen aan. De vraag naar woongelegenheden aan het water groeit dan ook. Wonen aan het water roept gevoelens van rust en vrijheid op.*

*Het bouwen in de nabijheid van open water kan echter ook voor problemen zorgen. De grens tussen land en water verschuift continue; er dient serieus rekening te worden gehouden met overstromingsgevaar.*

*Uiterwaarden zijn de buitendijkse gebieden langs de oevers van een rivier. Door innovatieve bouwconcepten toe te passen kunnen deze unieke locaties veilig bewoond worden. Eén van deze concepten zal hier gepresenteerd worden.*

### Hoog en droog

De meest effectieve manier om droge voeten te houden is het wonen op hoogte. Door een woning op een terp of op kolommen te bouwen zal de kans op waterschade aanzienlijk afnemen. Een voordeel van een woning op kolommen is de vrije doorstroming van het water, een belangrijke voorwaarde om in uiterwaarden te mogen bouwen.

Hoge waterstanden treden maar eens in de zoveel tijd op. Onder normale omstandigheden heeft een paalwoning geen toegevoegde waarde en kan als onesthetisch en onhandig worden beschouwd. In het volgende project zijn de eigenschappen van een paalwoning en een traditionele woning gecombineerd.

### Florere-project

De naam van het project ‘Florere’ is een samenvoeging van de woorden flood resistant reside, wat vloed bestendig wonen betekent. Dit vloedbestendig wonen kan nu gerealiseerd worden in de Arnhemse Meinerswijk, een uiterwaard aan de zuidelijke oever van de Rijn.



*De Meinerswijk in Arnhem. Het gebied is in 2005 bestempeld als EMAB-locatie, waardoor Experimenten Met Aangepast Bouwen toegestaan wordt. Een voorwaarde is een gelijkblijvende rivierwaterstand door ingrepen elders in het gebied.*

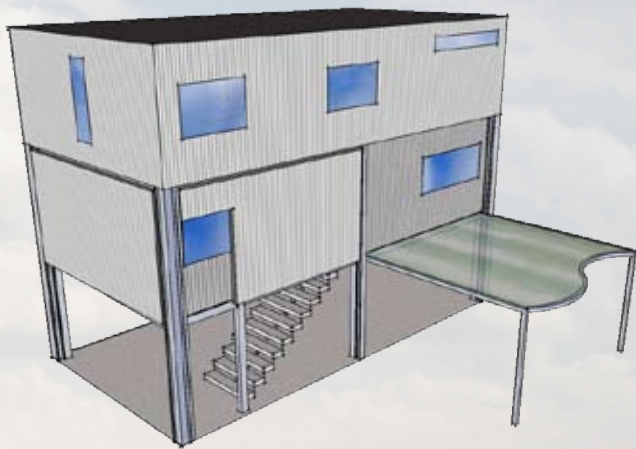
### Transformerende woningen

De woningen die voor het projectgebied ontworpen zijn lijken normale woningen. Bij dreigend hoogwater zal echter anders blijken. Middels een handmatige beweging zijn de gevels van de benedenverdieping omhoog te bewegen, waardoor een paalwoning ontstaat. De woning torent nu drie meter boven het grondniveau van de uiterwaard uit.

De rivier zal de onderste verdieping benutten als stroomgebied, iets waarmee rekening moet worden gehouden bij de indeling van de woning. De begane grond zal voornamelijk gebruikt worden als garage en opslagruimte. De constructie-elementen en afwerking worden uitgevoerd in waterbestendige materialen.

### Technische gegevens

- In De Meinerswijk is de kans op water boven de begane grondvloer ongeveer eens in de tien jaar.
- De woningen zijn vrijstand of gekoppeld uitgevoerd.
- Voor de beweegbare gevelelementen zijn lichtgewicht sandwichpanelen toegepast
- Als kolommen zijn stalen kokerprofielen toegepast.



### Ter informatie

Deze brochure is vervaardigd met het doel informatie te verschaffen over mogelijke bebouwing in overstromingsgebieden.

De Meinerswijk is een locatie die centraal staat in een fictieve ontwerpcase behorend bij het afstudeeronderzoek 'De toepassing van biomimetica op de woningbouw in overstromingsgebieden'. Een dergelijke vloedbestendige woning is toe te passen in gebieden waar gelijke omstandigheden heersen, zowel in binnen- als buitenland.

## Referenties

Meer, J. W. v. d. (2004). Kritiek golfoverslagdebiet bij rivierdijken en rampenbeheersingsmaatregelen. Marknesse, Infram: 26.

Puyan, N., S. Garvin, et al. (2007). "Richtlijnen voor bouwen in natte gebieden." Retrieved 16-10-2008, from <http://www.waterbestendigbouwen.nl/>.

SAB-profiel b.v. (2007). Segment brochure SAB-profiel/Rockwool. IJsselstein.

VBI (2003). VBI Ontwikkelingen BV. Huissen.

Vink Lisse B.V. (2008). "Assortiment ". Retrieved 28-10-2008, from <http://www.vinklisse.nl/>.

Wavter, R. (2003). "Drag Force in a Medium." Retrieved 22 aug 2008, from <http://www.ac.wvu.edu/~vawter/PhysicsNet/Topics/Dynamics/Forces/DragForce.html>.

## 8. Effecten van het ontwerp

*In dit hoofdstuk worden de consequenties van het bouwen van de woningen beschreven. De toepassing van het alternatieve bouwconcept heeft invloed op onder andere het waterpeil en de krachtsafdracht in de constructie. Er is opnieuw uitgegaan van de Meinerswijk in Arnhem als toepassingslocatie. Om de effecten van het ontwerp te illustreren wordt het ontwikkelde bouwconcept vergeleken met traditionele woningbouw.*

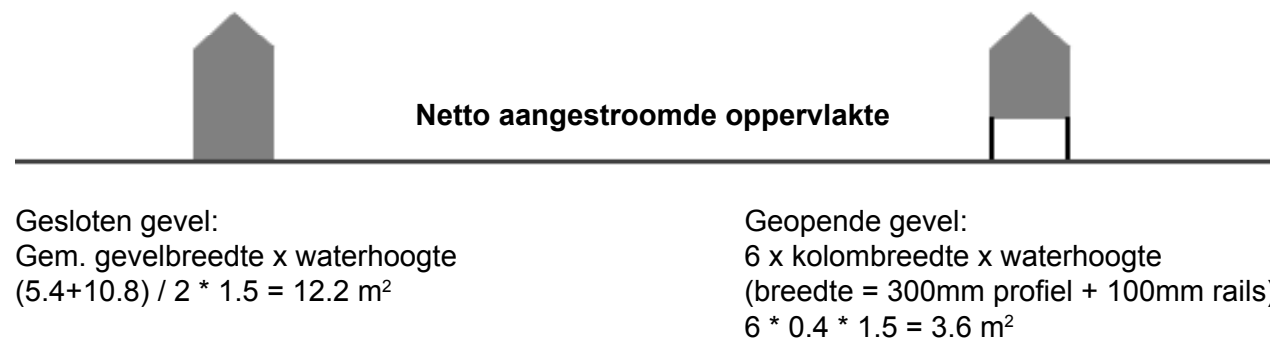
### 8.1 Belastingen

Door het openen van de gevels wordt de aangestroomde oppervlakte gereduceerd en nemen de belastingen op de constructie af.

#### *Reductie oppervlakte*

Er wordt verondersteld dat de conceptwoningen in de Meinerswijk zodanig georiënteerd zijn dat 50% van de woningen aangestroomd worden op de lange gevel en 50% op de korte gevels. (Figuur 8.1)

Ter vergelijking zijn de gemiddelde netto aangestroomde oppervlakken van de concept woning en een standaard woning berekend bij een waterhoogte van 1.5 meter.



De reductie van de aangestroomde oppervlakte bedraagt ruim 70%.

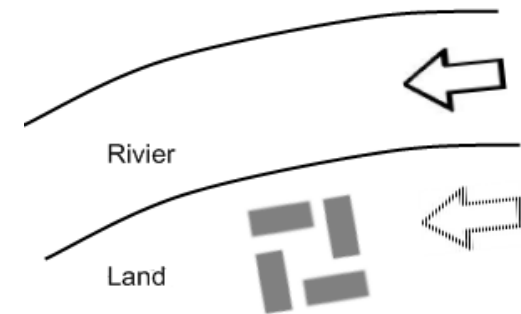


Fig. 8.1: Stroomrichting water Meinerswijk

### Reductie horizontale belastingen

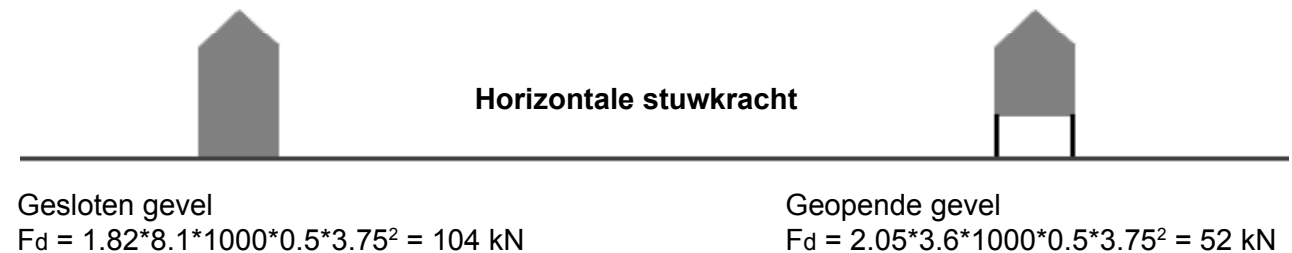
De optredende krachten zijn niet lineair evenredig met de belaste oppervlakte, maar afhankelijk van de volgende functie:

$$F_d = C_d \cdot A \cdot \rho \cdot 0.5 \cdot u^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$u = 3.75 \text{ m/s} \quad (\text{pagina B29})$$

De dichtheid van het water ( $\rho$ ) en de stroomsnelheid ( $u$ ) worden constant verondersteld. De drag-coëfficiënt ( $C_d$ ) is afhankelijk van de vorm van het aangestroomde object. De rechthoekige vorm van een woning heeft een lage  $C_d$  waarde dan een vierkante kolom, te weten 1.82 tegenover 2.05. (Davis and Moore 1982)



De horizontale stuwkracht op de zes kolommen bedraagt 50% van de grootte van de kracht die optreedt in het geval van een gesloten gevel.

#### Noot:

Naast de vorm van het aangestroomde object is ook het Reynolds-getal van invloed op de  $C_d$ -waarde. Het Reynoldsgetal is afhankelijk van de stroomsnelheid van het water. In bovenstaande berekening is de stroomsnelheid constant verondersteld, onafhankelijk van de mate van bebouwing van de uiterwaard.

In de bovenstaande berekening zijn geen krachten ten gevolge van wrijving opgenomen.

In de bovenstaande berekening is niet uitgegaan van het optreden van schaduwwerking. Indien kolommen in lijn geplaatst zijn mag er onder bepaalde voorwaarden een reductiefactor op de weerstandscoefficiënt toegepast worden. Door verschillen in oriëntatie van de woningen ten opzichte van de stroming wordt het optreden van schaduwwerking verwaarloosd.

## 8.2 Waterberging

Een paalwoning is een vorm van 'wet-proof' construeren. Er zijn maatregelen getroffen om de schade bij inundatie te beperken. De tegenhanger is 'dry-proof' construeren. In dit geval wordt het water buiten de woning gehouden. Door dry-proofing wordt het waterbergend vermogen van een bebouwd gebied verkleind. Het gevolg is dat het gemiddelde waterpeil in het gebied stijgt.

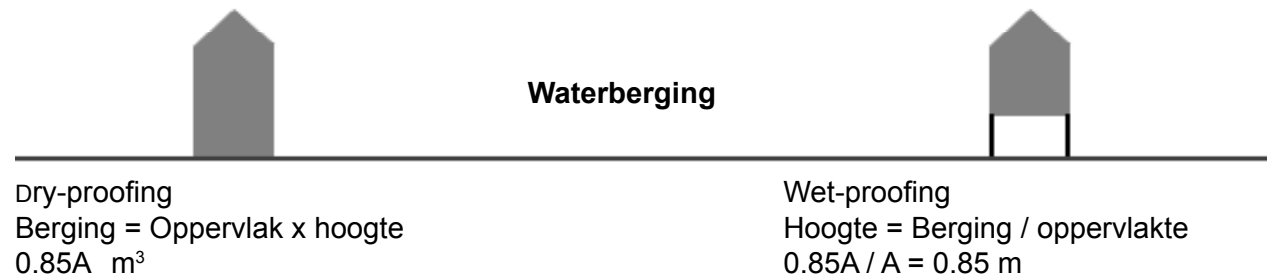
### *Bebouwingsgraad*

Het percentage bebouwde oppervlakte in een gebied heeft invloed op de totale waterbergingscapaciteit. Aan deze eigenschap van een gebied is de term 'Ground Space Index' (GSI) gekoppeld.

Voor een bouwproject in de Meinerswijk wordt een GSI-waarde van 0.15 aangenomen. Dit komt overeen met de bebauwingsgraad van een vergelijkbare wijk met vrijstaande woningen in Den Helder.

### *Bergingscapaciteit*

De bergingscapaciteit van een gebied is het product van de grondoppervlakte en de waterhoogte. De waterhoogte in onderstaande berekening is aangenomen op 1.0 meter; dit is de maximale hoogte waarbij nog dry-proofing toegepast kan worden. De oppervlakte van het gebied is  $A \text{ m}^2$ .



Door op kolommen te construeren wordt het locale waterniveau gereduceerd met maximaal 15 cm. Het effect van de ingreep is gewichtig, zeker indien het projectgebied buitendijks gelegen is. Een waterstandsverschil van 15 cm water kan de maatgevende belasting op een dijk betekenen.

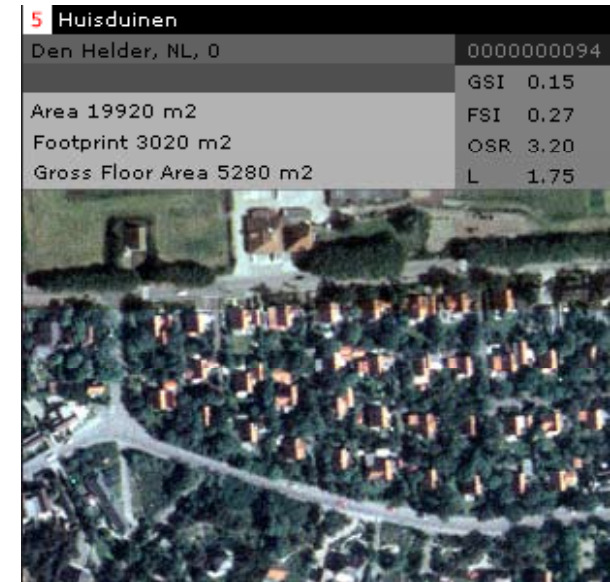


Fig. 8.2: Wijk met een GSI-waarde van 0.15

Algemeen kan gesteld worden dat in een gebied met een GSI-waarde van 'X%' de waterstand met maximaal 'X' cm verlaagd kan worden door op kolommen te construeren.  
De maximale waterhoogte waar dry-proofing nog toe te passen is bedraagt 1.0 meter.

**Noot:**

In de beredenering is uitgegaan van een gebied met een oneindige oppervlakte A. In werkelijkheid zal het water dat niet geborgen kan worden door de aanwezigheid van dry-proof woningen zich ook buiten het gebied verspreiden.

De gelijkmatige verdeling van het water over het gebied is een gevolg van de wet van de communicerende vaten. In het geval van (turbulent) stromend water zal het waterniveau echter niet op elke locatie gelijk zijn.

In de beredenering is de oppervlakte van bebouwing verwaarloosd. Voor de vloedbestendige woning is dit aanvaardbaar; de kolommen beslaan minder dan 2% van het vloeroppervlak. In de wijk zullen echter ook vormen van (openbare) bebouwing bestaan die niet op kolommen geconstrueerd zijn.

### 8.3 Rivierwaterstand

Het bebouwen van uiterwaarden heeft invloed op de waterstand in de rivier. In deze paragraaf zal beschreven worden wat de oorzaken en gevolgen van de wijziging van de waterstand zijn.

#### *Bodemruwheid*

Aanpassingen in een gebied hebben een invloed op de bodemruwheid. Wanneer de bodemruwheid van een uiterwaard verhoogd wordt, bijvoorbeeld door er te bouwen, zal het water er moeilijker doorheen stromen. De stroomsnelheid in de uiterwaard neemt af en daarmee ook het debiet. De netto afvoer van de rivier is echter onveranderd. Dit betekent een toename van het debiet in het eigenlijke rivierbed. De waterstand zal verhogen en de stroomsnelheid neemt toe. De verhouding tussen het debiet en de bodemruwheid blijkt uit de formule van Chezy:

$$Q = B \cdot C \cdot h \cdot \sqrt{R \cdot i_b}$$

Waarin:

$Q$  = debiet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$B$  = watervoerende breedte [m]

$C$  = gemiddelde ruwheidsfactor [ $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ]

$h$  = waterdiepte [m]

$R$  = hydraulische straal [m]

$i_b$  = bodemverhang [-]

De Chezy- coëfficiënt  $C$  van de uiterwaard volgt uit onderstaande formule. (Harke 2006)

$$C = \sqrt{\frac{1}{\frac{A_r h C_d}{2g} + \frac{1}{C_b^2}}}$$

Waarin:

$A_r$  = representatief aangestroomde oppervlakte palen [ $\text{m}^{-1}$ ]

$h$  = waterdiepte [m]

$C_d$  = weerstandscoefficiënt

$g$  = zwaartkrachtsversnelling [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$C_b$  = Chezy coëfficiënt voor ingreep [ $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ]

Om de invloed van de veranderende bodemruwheid op de waterstand te toetsen is in bijlage X een gevoeligheidsanalyse voor de parameters gedaan. Het resultaat hiervan is te vinden in onderstaand overzicht.



| Standaard woning                    | Paalwoning                          | Geen bebouwing                          |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| $C = 12.6 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ | $C = 17.0 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ | $C = 20.0 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ [1] |
| Debiet uiterwaard: -37%             | Debiet uiterwaard: -15%             | Debiet uiterwaard: +/- 0                |
| Debiet zomerbed: +9.3%              | Debiet zomerbed: +3.8%              | Debiet zomerbed: +/- 0                  |
| Stroomsnelheid ZB: +3.0%            | Stroomsnelheid ZB: +1.3%            | Stroomsnelheid ZB: +/- 0                |
| Waterhoogte ZB: +6.1%               | Waterhoogte ZB: +2.5%               | Waterhoogte ZB: +/- 0                   |

*ZB = Zomerbed*

Door het bebouwen van de uiterwaard met paalwoningen of traditionele woningen neemt de stroomsnelheid in de rivier toe met respectievelijk 1.3 en 3.0%. (Dit heeft niet nader onderzochte morfologische effecten.) De waterhoogte in het zomerbed neemt toe met 2.5% en 6.1%.

Om dit te compenseren dienen waterstandsverlagende ingrepen gedaan te worden.

[1] Aanname op basis van (Makaske 2007, Jesse 2004)

**Noot:**

In de berekeningen is uitgegaan van een wijziging van de Chezy-coëfficiënt (het bebouwen van de uiterwaarden) over de gehele lengte van de rivier. Is het ingrijpingsgebied kleiner, zoals in de Meinerswijk, dan zal een deel van de waterstands-toename bovenstrooms optreden.

## Referenties

Davis, R. W. and E. F. Moore (1982). "A numerical study of vortex shedding from rectangles." The Journal of Fluid Mechanics 116: 475-506.

Harke, J. (2006). Bepaald: Bouwen op palen in uiterwaarden. Enschede.

Jesse, P. (2004). Hydraulische weerstand in (natuur) ontwikkeling. Den Haag.

Makaske, B. and G. J. Maas (2007). Veiligheid en beheer van natuurgebieden in 'Ruimte voor de rivier'. Wageningen.

Permeta. (2001). "Spacemate." Retrieved 07-11-2008, from [www.spacemate.nl](http://www.spacemate.nl).



# Conclusies en aanbevelingen

---

Het eerste deel van dit onderzoek beslaat de analyse van het gedrag van planten en dieren bij dreigend water. Veel organismen nestelen zich in vochtige gebieden vanwege de afhankelijkheid van water. De flexibiliteit van de natuur kan een interessante bron van inspiratie zijn tijdens het ontwerpen van een vloedbestendige woning. Enkele voorkomende methoden om bescherming te vinden tegen (stromend) water zijn:

- het vestigen boven of onder het maaiveld;
- het meebewegen met de waterspiegel door te drijven;
- het verkleinen van het belaste oppervlak.

Het laatstgenoemde punt kan bereikt worden door een gestroomlijnde vorm. Een andere methode is het tijdelijk verkleinen van de door stroming belaste oppervlakte. Gebaseerd op het inscheurende bananenblad kunnen woningen ontworpen worden waarvan de gevels op de begane grondverdieping te openen zijn in geval van dreigend hoogwater. De woningen kunnen nu aangepast worden aan de heersende omstandigheden zoals vele elementen in de natuur dat ook doen.

Door de oppervlakte van de gevels tijdelijk te verkleinen worden de optredende belastingen gereduceerd. Tevens neemt de stromingsweerstand van de woning af. Hierdoor is dit concept interessant om toe te passen op woningenbouwprojecten in uiterwaarden. De rivier zal bij hoogwater de onderste verdieping benutten voor de doorstroming van het water, iets waar bij de indeling van de woning rekening mee moet worden gehouden.

Biomimetica kan een belangrijke bijdrage leveren tijdens de ontwerpfase van een civieltechnische constructie. De natuur is een interessante bron van inspiratie, die als nuttige aanvulling kan dienen op andere inspiratiebronnen. De ontwerper kan biomimetica als ontwerptool gebruiken, een eigen visie in het ontwerpproces blijft echter een vereiste.

Het principe van inscheuren om de oppervlakte te verkleinen bleek in het geval van een gevel niet optimaal te zijn. Een mechanisme waarbij de gevel omhoog wordt geschoven leidt tot betere eigenschappen van de vloedbestendige woning.

### *Vervolg conclusies*

De uitgevoerde ontwerpcase heeft aangetoond dat de door het water aangestroomde netto oppervlakte van een paalwoning - of woning met geopende gevel - ruim 70 procent lager is dan die van een standaard woning. De afname van de belastingen ten gevolge van het water ligt in dezelfde orde van grootte.

Het bebouwen van de uiterwaard met paalwoningen of traditionele woningen zorgt voor een toename van de stroomsnelheid in de rivier met respectievelijk 1.3 en 3.0 procent. De waterhoogte in het zomerbed neemt toe met respectievelijk 2.5 en 6.1 procent. Om dit te compenseren dienen elders in het gebied waterstandsverlagende ingrepen gedaan te worden.

### *Aanbevelingen*

- Er is nader onderzoek benodigd om te bepalen of er een markt is voor dergelijke woningen. Het doel ervan is om te bepalen of mensen bereid zijn om te wonen in een situatie waarvan bekend is dat evacuatie mogelijk nodig zijn.
- Om bovenstaand punt te beïnvloeden is het belangrijk een nader uitgewerkt evacuatieplan te ontwikkelen en te presenteren.
- Er moet onderzocht worden onder welke voorwaarden verzekeraars bereid zijn om dergelijke woningen inclusief inboedel te verzekeren.
- Het is aanbevolen nader onderzoek te verrichten naar de kosten en de baten van het bouwproject. Of de plannen rendabel zijn zal vooral afhangen van de financiële schade die voorkomen kan worden door te investeren in deze innovatieve bouwmethode. Een vergelijking moet worden gemaakt met alternatieve beschermingsmethoden zoals een dijkverlegging of de bouw van drijvende woningen.

# Figurenlijst

---

|            |                                       |                                                                                                  |
|------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.1        | Wildlife gallery                      | <a href="http://www.hlasek.com">www.hlasek.com</a>                                               |
| 3.2        | Scary Squirrel World                  | <a href="http://www.scarysquirrel.org">www.scarysquirrel.org</a>                                 |
| 3.3        | Australian Orangutan Project          | <a href="http://www.orangutan.org.au">www.orangutan.org.au</a>                                   |
| 3.4        | Wikimedia Commons                     | <a href="http://commons.wikimedia.org">commons.wikimedia.org</a>                                 |
| 3.5        | Weidevogelbescherming Weerselo        | <a href="http://www.weidevogelbescherming-weerselo.nl">www.weidevogelbescherming-weerselo.nl</a> |
| 3.6        | ABC Science                           | <a href="http://www.abc.net.au/science/">www.abc.net.au/science/</a>                             |
| 3.7        | WildCRU                               | <a href="http://www.wildcru.org">www.wildcru.org</a>                                             |
| 3.8        | Wadden Encyclopedie Ecomare           | <a href="http://www.ecomare.nl">www.ecomare.nl</a>                                               |
| 3.9        | Eigen foto, Diergaarde Blijdorp       |                                                                                                  |
| 3.10       | Wikipedia Encyclopedie                | <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a>                                         |
| 3.11       | Delft Integraal                       | <a href="http://www.delftintegraal.tudelft.nl">www.delftintegraal.tudelft.nl</a>                 |
| 3.12       | Aquarium Webzine                      | <a href="http://aquarium-webzine.com">aquarium-webzine.com</a>                                   |
| 3.13       | Fotodatabase Flickr                   | <a href="http://www.flickr.com">www.flickr.com</a>                                               |
| 3.14       | Wikipedia Encyclopedie                | <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a>                                         |
| 3.15       | Eigen foto, Wilhelminapark Delft      |                                                                                                  |
| 3.16       | Eigen foto. Hof van Delftpark         |                                                                                                  |
| 3.17       | Wikipedia Encyclopedie                | <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a>                                         |
| 3.18       | Wikipedia Encyclopedie                | <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a>                                         |
| 3.19       | Eigen foto, Botanische tuin Leiden    |                                                                                                  |
| 3.20       | Staten Island Live                    | <a href="http://www.silive.com">www.silive.com</a>                                               |
| 3.21       | Picasa webalbum                       | <a href="http://picasaweb.google.com">picasaweb.google.com</a>                                   |
| 3.22       | Atlas fotográfico                     | <a href="http://www.nucleodeaprendizagem.com.br">www.nucleodeaprendizagem.com.br</a>             |
| 3.23       | Wikipedia Encyclopedie                | <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a>                                         |
| 3.24       | Waterwereld                           | <a href="http://www.waterwereld.nu">www.waterwereld.nu</a>                                       |
| 4.1        | Transactions on Robotics vol. 23 #3   | <a href="http://ieeexplore.ieee.org">ieeexplore.ieee.org</a>                                     |
| 4.2        | Transactions on Robotics vol. 23 #3   | <a href="http://ieeexplore.ieee.org">ieeexplore.ieee.org</a>                                     |
| 5.1a       | Journal of exper. botany vol. 51 #353 | <a href="http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/reprint/51/353/2085">jxb.oxfordjournals.org/cgi/</a>  |
| 5.1b       | Journal of exper. botany vol. 51 #353 | <a href="http://reprint/51/353/2085">reprint/51/353/2085</a>                                     |
| 5.2        | Journal of exper. botany vol. 51 #353 |                                                                                                  |
| 5.3        | Wikipedia Encyclopedie                | <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a>                                         |
| 5.4        | Bill Acheson Photograpy               | <a href="http://www.billacheson.com">www.billacheson.com</a>                                     |
| 5.5 - 5.13 | Figuur in Google SketchUp             | <a href="http://sketchup.google.com">sketchup.google.com</a>                                     |

|        |                                  |                                                                              |
|--------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 6.1    | Eigen figuur, geïnspireerd door: | <a href="http://www.waterstudio.nl">www.waterstudio.nl</a>                   |
| 6.2    | Google Maps                      | <a href="http://maps.google.nl">maps.google.nl</a>                           |
| 6.3    | Inspiratie-atlas Meinerswijk #4  | <a href="http://stadsblokken-meinerswijk.nl">stadsblokken-meinerswijk.nl</a> |
| 6.4    | Inspiratie-atlas Meinerswijk #2  | <a href="http://stadsblokken-meinerswijk.nl">stadsblokken-meinerswijk.nl</a> |
| 6.5    | Inspiratie-atlas Meinerswijk #1  | <a href="http://stadsblokken-meinerswijk.nl">stadsblokken-meinerswijk.nl</a> |
| 6.6    | Inspiratie-atlas Meinerswijk #3  | <a href="http://stadsblokken-meinerswijk.nl">stadsblokken-meinerswijk.nl</a> |
| 6.7    | Inspiratie-atlas Meinerswijk #1  | <a href="http://stadsblokken-meinerswijk.nl">stadsblokken-meinerswijk.nl</a> |
| 6.8    | Google Maps                      | <a href="http://maps.google.nl">maps.google.nl</a>                           |
| 6.9    | Google Maps                      | <a href="http://maps.google.nl">maps.google.nl</a>                           |
| 6.10   | Catalogus Rockwool               | <a href="http://www.rockwool.nl">www.rockwool.nl</a>                         |
| 7.1    | Productinformatie VBI            | <a href="http://www.vbi.nl">www.vbi.nl</a>                                   |
| 7.2    | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.3    | Figuur in Google SketchUp        | <a href="http://sketchup.com">sketchup.com</a>                               |
| 7.4    | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.5    | Uitvoer Matrixframe              | <a href="http://www.matrix-software.com">www.matrix-software.com</a>         |
| 7.6    | Uitvoer Matrixframe              | <a href="http://www.matrix-software.com">www.matrix-software.com</a>         |
| 7.7    | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.8    | SAB-profiel                      | <a href="http://www.sab-profiel.nl">www.sab-profiel.nl</a>                   |
| 7.9    | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.10   | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.11   | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.12   | Webshop Soer B.V.                | <a href="http://www.soer.nl">www.soer.nl</a>                                 |
| 7.13   | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.14   | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.15   | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.16   | Figuur in Google SketchUp        | <a href="http://sketchup.com">sketchup.com</a>                               |
| 7.17   | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.18   | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 7.19   | Figuur Google Earth              | <a href="http://earth.google.com">earth.google.com</a>                       |
| Overig | Figuur in Google SketchUp        | <a href="http://sketchup.com">sketchup.com</a>                               |
| 8.1    | Figuur in paint.NET v3.36        | <a href="http://www.paint.net">www.paint.net</a>                             |
| 8.2    | Referentie Spacemate             | <a href="http://www.spacemate.nl">www.spacemate.nl</a>                       |

# Bijlagen

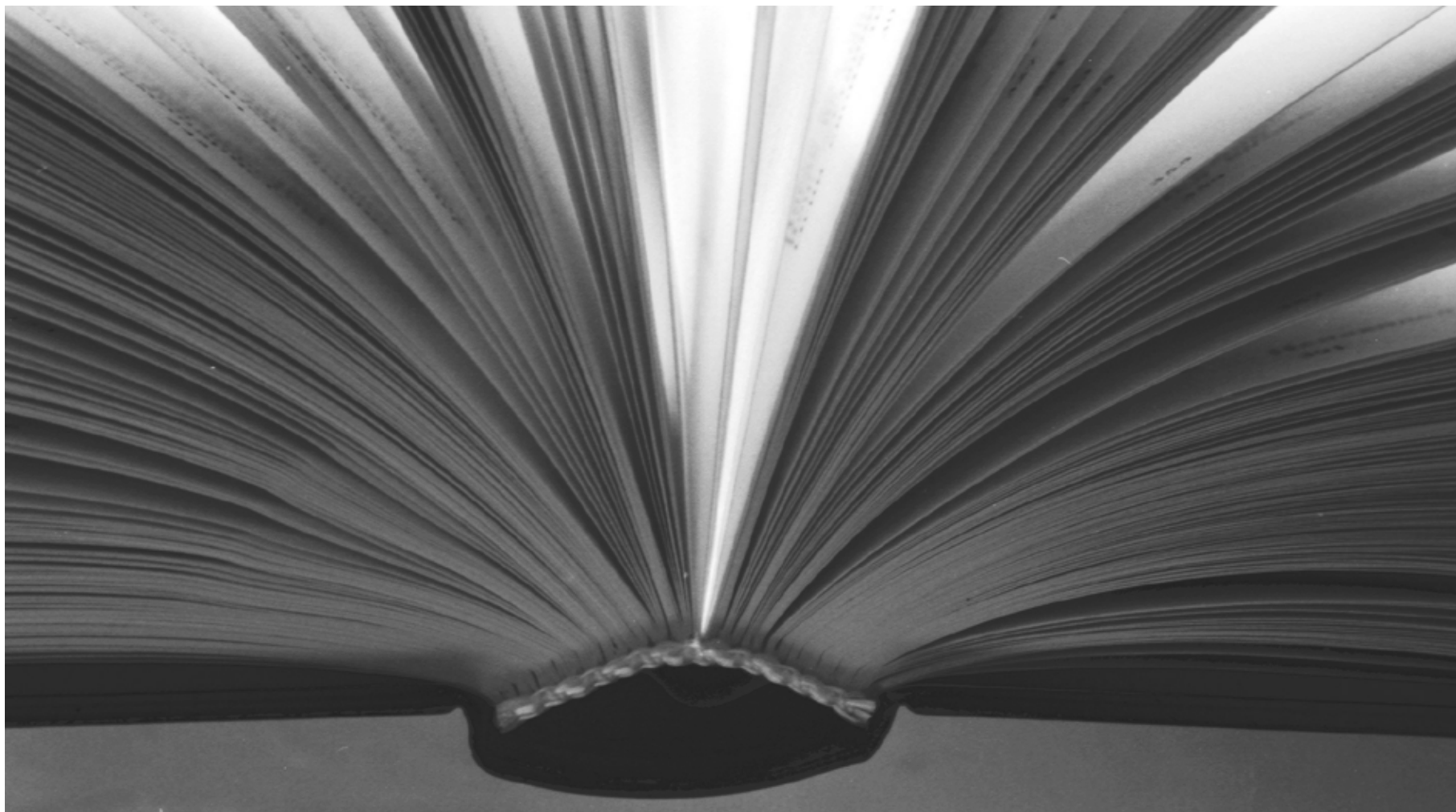
---

|              |                             |
|--------------|-----------------------------|
| Bijlage I    | Literatuuronderzoek         |
| Bijlage II   | Lijst EMAB-locaties         |
| Bijlage III  | Belastingen woning          |
| Bijlage IV   | Gewichtsberekening          |
| Bijlage V    | Belastingen portalen        |
| Bijlage VI   | Berekening portalen         |
| Bijlage VII  | Dimensionering kolom        |
| Bijlage VIII | Dimensionering ligger       |
| Bijlage IX   | Dimensionering fundering    |
| Bijlage X    | Berekening rivierwaterstand |



# Literatuuronderzoek

---



Literatuuronderzoek

---



# Inhoudsopgave

---

|          |                                        |           |
|----------|----------------------------------------|-----------|
| <b>A</b> | <b>Biomimetica</b>                     | <b>5</b>  |
| A1       | Inleiding                              | 5         |
| A2       | Geschiedenis van de biomimetica        | 6         |
| A3       | Toekomst van de biomimetica            | 6         |
| A4       | Vormen van biomimetica                 | 7         |
| A5       | Voor- en tegenstanders van biomimetica | 8         |
| A6       | Referentieprojecten                    | 9         |
| A7       | Samenvatting                           | 12        |
|          | Referenties                            | 13        |
| <b>B</b> | <b>Overstromingen</b>                  | <b>15</b> |
| B1       | Inleiding                              | 15        |
| B2       | Oorzaken van overstromingen            | 16        |
| 2.1      | Aanvoer water                          | 16        |
| 2.2      | Bezwijken van waterkerende werken      | 17        |
| B3       | Reductie oorzaken                      | 18        |
| B4       | Schades                                | 20        |
| B5       | Bescherming                            | 21        |
| 5.1      | Permanente bescherming                 | 21        |
| 5.2      | Tijdelijke bescherming                 | 24        |
| B6       | Ontwerpeisen                           | 26        |
| B7       | Belastingen                            | 29        |
| B8       | Voordelen van hoogwater                | 32        |
| B9       | Samenvatting                           | 33        |
|          | Referenties                            | 33        |
|          | <b>Figurenlijst</b>                    | <b>35</b> |
|          | <b>Literatuur</b>                      | <b>36</b> |
|          | <b>Beoordeling literatuur</b>          | <b>38</b> |



# A. Biomimetica

---

## A1 Inleiding

### *Het woord 'Biomimicry'*

Het Engelse woord biomimicry is een samenstelling van de Griekse woorden bios en mimesis, wat respectievelijk leven en imiteren betekent. In dit rapport zal de Nederlandse vertaling 'biomimetica' gebruikt worden. Biomimetica is een wetenschap waarin ideeën van de natuur bestudeerd worden met het doel deze te gebruiken om menselijke problemen op te lossen.

Het woord biomimetica kent een aantal synoniemen in de Engelse taal: biomimicry, biomimetics, bioinspiration, bionics en biognosis.

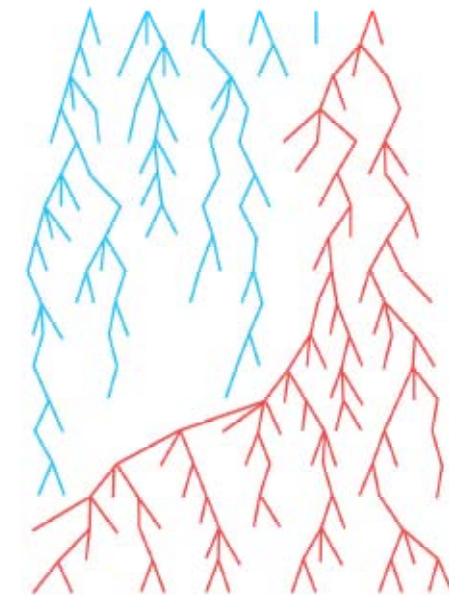
### *Achtergrond Biomimetica*

De natuur kan een belangrijke bijdrage leveren tijdens het oplossen van menselijke problemen. Wetenschappers kunnen aan de hand van een gesteld probleem op zoek gaan naar oplossingen in de natuur. Ook het omgekeerde komt voor; men komt een inspirerende eigenschap van de natuur tegen en probeert vervolgens een toepassing te vinden in de menselijke wereld.

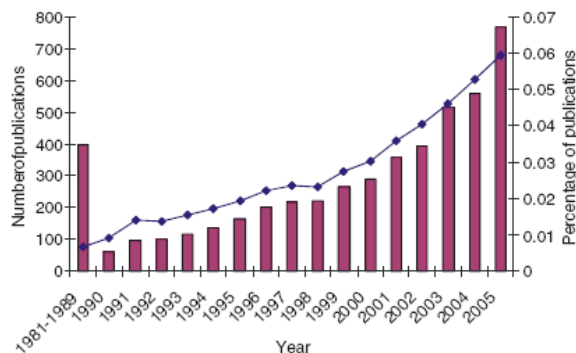
De verklaring dat de natuur zoveel slimme oplossingen kent schuilt in de evolutie. In de evolutieleer komen twee theorieën naar voren over de een positieve ontwikkeling van organismen in de loop der tijd. (Wesche 2004; Wikipedia 2008)

De eerste theorie is die van natuurlijke selectie. De organismen met de meest gunstige eigenschappen overleven het eenvoudigst. De nakomelingen zullen deze gunstige eigenschappen 'erven', waardoor volgende generaties beter aangepast zijn aan de heersende omstandigheden.

Een tweede theorie is die van de genetische drift. Totaal losstaand van de natuurlijke selectie veranderen delen van organismen spontaan. Deze delen betreffen de genen, die de basis vormen van de DNA-structuur. Deze spontane veranderingen kunnen verschillende oorzaken hebben, maar zijn vaak geheel willekeurig. Kansberekening speelt hierbij een grote rol. Uiteindelijk blijven ook hier de gunstigste veranderingen standhouden, waardoor het een vorm van evolutie is.



**Fig A1:**  
**Schematisatie genetische drift**



**Fig. A2:**  
Aantal publicaties die het woord biomimicry bevatten in de titel, samenvatting of kernwoorden. De gegevens zijn verkregen door de ISI Web of Science database te doorzoeken.

## A2 Geschiedenis van de Biomimetica

Biomimetica is een relatief nieuwe wetenschap. Zoals uit figuur A2 blijkt is het aantal publicaties over dit onderwerp de afgelopen 20 jaar fors toegenomen. Rekening dient te worden gehouden met het feit dat de natuur al langer geïmiteerd wordt, echter werd het woord 'biomimetica' hier nog niet aan gekoppeld.

Het woord biomimicry en zijn synoniemen zijn ontstaan in de jaren 50 van de vorige eeuw. 'Biome-tics' werd voor het eerst gebruikt door de ingenieur Otto Schmitt. In 1958 introduceerde onderzoeker Jack E. Steele de term 'bionics'. (Wikipedia 2008)

Ook voor het ontstaan van de wetenschap werd de natuur al veelvuldig geïmiteerd. Er zijn talloze voorbeelden van hedendaagse voorwerpen of gebruiken die gebaseerd zijn op ideeën uit de natuur. Voorbeelden uit de civiele techniek zijn gegeven in paragraaf A6.

Aan het eind van de 20<sup>ste</sup> eeuw neemt de populariteit van biomimetica toe. Er ontstond steeds sterker het besef dat de veranderde productiewijze een aanslag op onze leefomgeving vormde. Men zocht inspiratie in de natuur om vraagstukken met betrekking tot energie, duurzaamheid en milieu op te lossen.

## A3 Toekomst van de Biomimetica

Duurzaamheid is een steeds populairder onderwerp van discussie. Meer en meer groeit het besef dat de huidige consumptiewijze van de mens ernstige schade toebrengt aan onze leefomgeving. Bronnen raken uitgeput en de aarde en atmosfeer worden in steeds sterkere mate vervuild. Om deze negatieve effecten te reduceren of stop te zetten, zal de mens zich aan moeten passen.

De natuur is altijd in staat geweest om zichzelf te handhaven. Organismen gaan efficiënt om met energie en consumeren nooit meer voedingsstoffen dan zij nodig hebben om te overleven. Eventuele afvalstoffen worden weer door andere organismen gebruikt om zich te voeden. De natuurlijke kringloop is in evenwicht, wat de reden is dat biomimetica zeer interessant kan zijn voor het beantwoorden van vraagstukken over afvalstoffen.

Een andere reden waarom de toepassing van biomimetica bij kan dragen aan duurzaamheid is de efficiëntie die in de natuur voorkomt. Oplossingen in de natuur zijn vaak efficiënt; het imiteren hiervan kan materiaal- en energiebesparingen opleveren. Ook kan biomimetica alternatieve concepten opleveren op het gebied van bijvoorbeeld energiewinning of nieuwe materialen.

#### **A4    Vormen van Biomimetica**

De natuur kan op verschillende gebieden inspiratie vormen voor de mens. En indeling in drie hoofdvormen is mogelijk; structuur, proces en systeem. (Biomimicry Institute 2008)

##### *Structuur*

Natuurlijke vormen kunnen een inspiratiebron zijn voor bouwwerken of elementen daarvan. De natuur gaat zeer efficiënt met bouw materiaal om; de sterkte wordt optimaal benut. Het kopiëren van een natuurlijke vorm zal vaak een materiaalbesparing opleveren. De vorm kan op verschillende niveaus voorkomen; moleculair niveau, celniveau of een compleet organisme.

Enkele voorbeelden van inspirerende vormen in de natuur zijn:

- De structuur van een lotusblad. Deze structuur zorgt ervoor dat water en vuil zich niet hechten aan het oppervlak.
- De opbouw van een insectenvleugel, een zeer lichtgewicht constructie.

##### *Proces*

Ook processen in de natuur kunnen een inspiratiebron zijn. De manieren waarop bepaalde organismen overleven is het resultaat van eeuwenlange ontwikkelingen. Het nabootsen van deze processen kan besparing van materiaal of tijd betekenen.

Enkele voorbeelden van inspirerende processen in de natuur zijn:

- Een spin die zijn draad spint, sterker dan staal.
- De zelfhelende eigenschappen van materialen als hout en botten.

##### *Systeem*

Met een natuurlijk systeem wordt de samenwerking tussen organismen of delen daarvan bedoeld. Onderdelen in de natuur zijn vaak zo op elkaar afgestemd dat ze elkaar positief beïnvloeden. Er ontstaat een gesloten kringloop die in principe een oneindig kan bestaan.

Een voorbeeld van een inspirerend systeem in de natuur is:

- De afvalketen; de afvalstoffen van een bepaald organisme vormen een voedingsbron voor andere natuursoorten.

## **A5 Voor- en tegenstanders van biomimetica**

Doordat biomimetica steeds meer toepassingen krijgt laait ook de discussie over het gebruik ervan op. In deze paragraaf zijn de argumenten van voor- en tegenstanders van de toepassing van biomimetica gegeven. (Wesche 2004; Chen 2005)

### *Voorstanders*

Voorstanders van het toepassen van biomimetica zijn vooral gedreven door de effectiviteit van oplossingen in de natuur. Door de evolutie zijn organismen optimaal aangepast aan hun leefomgeving. Deze aanpassing zou de mens over moeten nemen om op een duurzame manier met de aarde en haar grondstoffen om te gaan.

### *Tegenstanders*

Sceptici brengen de verschillen tussen de mens en andere organismen naar voren. Zo zouden de problemen van mensen zich strekken tot maximaal enkele decennia in de toekomst. In de natuur kan er door middel van genetische drift een verandering plaatsvinden die vele duizenden jaren ontwikkeling nodig heeft. Ook de schaal van de problemen is verschillend, bijvoorbeeld in grootte. Daarnaast dragen tegenstanders aan dat de natuur niet elk probleem op de beste of meest logische manier oplost. Dit zijn bijvoorbeeld de minder succesvolle zijtakken binnen de genetische drift.

### *Verschillen biologen en ingenieurs*

Een ander probleem is de kloof tussen biologen en ingenieurs. Allereerst zijn de twee wetenschappen gescheiden en is er weinig contact tussen beide. Daar komt bij dat biologen en ingenieurs een andere taal spreken. Wanneer een bioloog een eigenschap van de natuur waarneemt dan beschrijft hij deze in zijn eigen termen. Dit moet vervolgens vertaald worden naar een 'technisch' verhaal, waarna de ingenieur weer kan bekijken waar en hoe hij het fenomeen toe kan passen.

### *Persoonlijke mening*

Ik ben van mening dat er in de bouw stappen ondernomen moeten worden om duurzamer te werk te gaan. De huidige bouw- en productiemethoden hebben consequenties voor onze leefomgeving die ik onaanvaardbaar acht, zeker wanneer er goede alternatieven beschikbaar zijn. Omdat er door de toepassing van biomimetica energie en materiaal bespaard kan worden is de groei van deze wetenschap een goede ontwikkeling.

Biomimetica zou naar mijn mening een grotere rol binnen het ontwerpproces van een civiel-technische constructie moeten krijgen. Een extra inspiratiebron kan namelijk nieuwe concepten en ideeën opleveren. Wel moet te allen tijde kritisch bepaald worden of het kopiëren van de natuur rendabel is en of het de optimale oplossing biedt.

## A6 Referentieprojecten

In deze paragraaf zijn enkele referentieprojecten van de toepassing van biomimetica in de ontwerpen van gebouwen beschreven. Het doel is een inzicht te creëren in de mogelijke toepassingen van biomimetica.

### ***Crystal Palace, London, 1851, Joseph Paxton***

#### *Joseph Paxton*

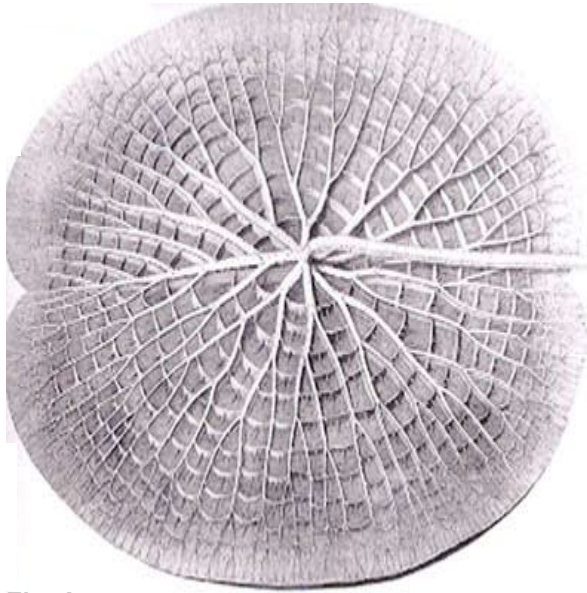
Joseph Paxton wordt in 1803 geboren in Milton Bryan, UK. (Wikipedia 2008) Uit zijn beroep als tuinman blijkt zijn interesse voor de natuur. Vooral waterlelies trekken zijn aandacht. In zijn 30<sup>ste</sup> levensjaar ontwerpt hij glazen kassen om bepaalde waterlelies onder gecontroleerde omstandigheden te kunnen laten groeien. Later zal één van de lelies, de Victoria Regia, de inspiratie zijn voor het ontwerp van meerdere glashuizen. De structuur van het blad van de plant is zodanig dat deze het gewicht van een kind kan dragen. In 1849 werd dit in één van de glashuizen gedemonstreerd door Paxton's dochter. Langzamerhand hield Paxton zich steeds meer bezig met architectuur en constructies. Het bekendste bouwwerk van zijn hand was het Crystal Palace te Londen.

#### *Crystal Palace*

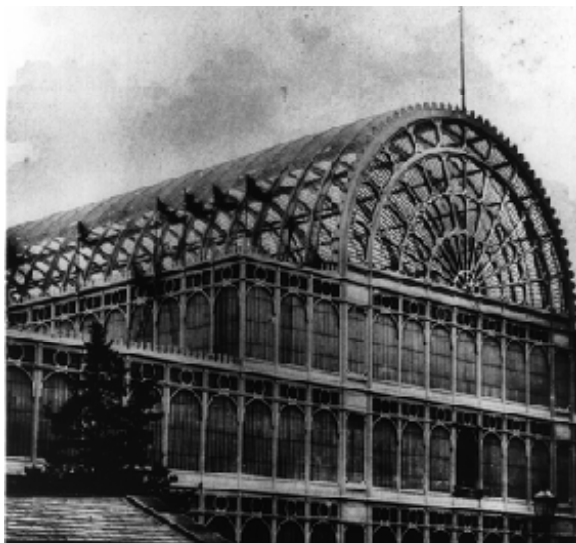
Het Crystal Palace werd gebouwd voor de wereldtentoonstelling van 1851 in Londen. Het grotendeels transparante gebouw had de afmetingen van 564 bij 137 meter. Het gebruik van de materialen glas en gietijzer was revolutionair in deze tijd, en was mogelijk geworden door de industriële revolutie. De bouw kon voltooid worden in slechts negen maanden, wat te danken was aan de repeterende elementen en de goede voorbereidingen. (Roger 2007) Na de wereldtentoonstelling werd het gebouw verplaatst naar een andere locatie in London. In 1936 werd het Crystal Palace verwoest door een grote brand.



**Fig. A3:**  
**Anne Paxton op het blad van de Victoria Regia**



**Fig. A4:**  
De onderzijde van het Victoria Regia blad



**Fig. A5:** Vooraanzicht Crystal Palace

### *Constructie*

Voor de constructie van de expositiehal werden voornamelijk voorgevormde gietijzeren spanten gebruikt. Sinds korte tijd waren ook gebogen profielen beschikbaar. De voornaamste eigenschap die van het lelieblad werd overgenomen betrof de radiale structuur. Te zien is dat er ter plaatse van de grootste krachten het meeste materiaal aanwezig is.

Dat het ontwerp goed uitgedacht is blijkt ook uit de voorzieningen voor de afwatering, zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde van het glas. De nerven in het oppervlak zijn waarschijnlijk gebaseerd op de structuur van een bomenblad.

### *The National Stadium, Beijing, 2008, Herzog & de Meuron architects*

#### *Herzog & de Meuron architects*

De in 2002 uitgeroepen ontwerpwedstrijd voor het Olympisch Stadion van Beijing werd gewonnen door Herzog & de Meuron architects uit Zwitserland. Deze architecten zijn de ontwerpers van onder meer Allianz Arena in München en St.Jacob-Park in Basel, beide grote voetbalstadions.

Het ontwerp voor het stadion in Beijing is ontstaan in samenwerking met ArupSport en China Architecture Design & Research Group.

#### *The National Stadium*

Het stadion heeft tijdens de Olympische Spelen van 2008 een belangrijke functie vervuld. Naast de voetbalwedstrijden die er gespeeld werden, hebben ook de openings- en sluitingsceremonie in dit stadion plaatsgevonden.

De capaciteit van het stadion bedroeg tijdens de Olympische Spelen 91.000 man. 11.000 plaatsen hiervan waren tijdelijk en zijn na de Spelen weer verwijderd.

In maart 2004 is aangevangen met het construeren van het stadion. Vier jaar later, in maart 2008, is de constructie voltooid.

## Constructie

De opbouw en vorm van de stalen constructie is gemodelleerd naar de vorm van een vogelnestje, wat het stadion de bijnaam 'Bird's Nest' heeft bezorgd.

De dakconstructie van het stadion is zadelvormig. De ellips is 313 meter lang en 266 breed. De grootste hoogte boven maaiveld is 69 meter. De gevel staat onder een hoek ten opzichte van de verticaal. De grootst voorkomende hoek bedraagt 13 graden. (Arup 2005)

In totaal is er in het dak en in de gevels een lengte van 36 km staalprofielen verwerkt. Het ontwerp bestaat uit ruim 7000 staafvormige elementen, die allemaal specifieke afmetingen hebben, dus apart geproduceerd moesten worden.

In het stadion zijn de openingen tussen de stalen elementen afgesloten met kunststof ETFE-panels. Deze panels zijn zelfreinigend, net als het oppervlak van een lotusblad.



**Fig. A6:** Het vogelnest als inspiratiebron



**Fig. A7:** Het ontwerp als resultaat

## A7 Samenvatting

Biomimetica is de wetenschap waarin eigenschappen uit de natuur worden gekopieerd om menselijke problemen op te lossen. Men kan aan de hand van een probleem op zoek gaan naar oplossingen in de natuur. Andersom kan de natuur ook een inspiratiebron zijn voor een verbetering van een bepaald gebruik in de menselijke wereld, zonder dat die als probleem omschreven was. In dit onderzoek wordt vooral de eerstgenoemde werkwijze toegepast.

De natuur blijkt uit zeer efficiënte vormen, processen en systemen te bestaan. De oorzaak hiervan is het aanpassingsvermogen van organismen aan hun leefomgeving. Evolutie leidt ertoe dat de efficiëntst werkende natuurvormen blijven bestaan.

In het verleden is de natuur al vele malen als inspiratiebron gebruikt, zowel binnen het domein van de civiele techniek als daarbuiten. De laatste twee decennia is de populariteit van biomimetica enorm toegenomen. Dit heeft alles te maken met het toenemende besef dat de mens zorgzamer met zijn leefomgeving om moet gaan.

Het toenemende streven naar duurzaamheid zal er hoogst waarschijnlijk toe leiden dat biomimetica ook in de toekomst een belangrijke rol zal gaan spelen bij het oplossen van vraagstukken. De natuur werkt efficiënt, dus door bepaalde eigenschappen te kopiëren is tijd en materiaal te besparen.

Sceptici brengen naar voren dat niet alle elementen in de natuur optimaal presteren zijn. Daarnaast is het eenvoudigweg kopiëren van de natuur niet mogelijk door schaalverschillen. In dit onderzoek zal te allen tijde beoordeeld worden of de oplossingen van de natuur wel optimaal zijn.

Om biomimetica in de toekomst effectief te kunnen toepassen zouden biologen en ingenieurs meer samen moeten werken en in dezelfde taal moeten leren spreken.

## Referenties

Arup. (2005). "Beijing National Stadium, Olympic Green." Retrieved 25-02-2008, from <http://www.arup.com/eastasia/project.cfm?pageid=2184>.

Biomimicry Institute. (2008) "Biomimicry Database." Retrieved 25-02-2008, from <http://database.biomimicry.org/>.

Chen, C. L. et al. (2005). Design as a natural Phenomenon". Eindhoven

Roger, A. (2007). Beijing Olympic Stadium 2008 as Biomimicry of a Bird's Nest. Quebec, Canada, McGill University: 17.

Wesche, P. (2004). "Biomimicry for Sustainable Innovation: Romanticising about nature's design?" Retrieved 11-03-2008, from [http://www.thinkcycle.org/tc-bboard/message-threaded?message\\_id=50266&forum\\_id=40411](http://www.thinkcycle.org/tc-bboard/message-threaded?message_id=50266&forum_id=40411).

Wikipedia. (2008). "Beijing National Stadium." Retrieved 28-02-2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/Beijing\\_National\\_Stadium](http://en.wikipedia.org/wiki/Beijing_National_Stadium).

Wikipedia. (2008). "Bionics." Retrieved 11-03-2008, from <http://en.wikipedia.org/wiki/Bionics>.

Wikipedia. (2008). "The Crystal Palace." Retrieved 26-02-2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Crystal\\_Palace](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace).

Wikipedia. (2008). "Evolutietheorie." Retrieved 13-03-2008, from <http://nl.wikipedia.org/wiki/Evolutietheorie>.

Wikipedia. (2008). "Herzog & de Meuron." Retrieved 26-02-2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/Herzog\\_&\\_de\\_Meuron](http://en.wikipedia.org/wiki/Herzog_&_de_Meuron).

Wikipedia. (2008). "Joseph Paxton." Retrieved 28-02-2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Paxton](http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Paxton).



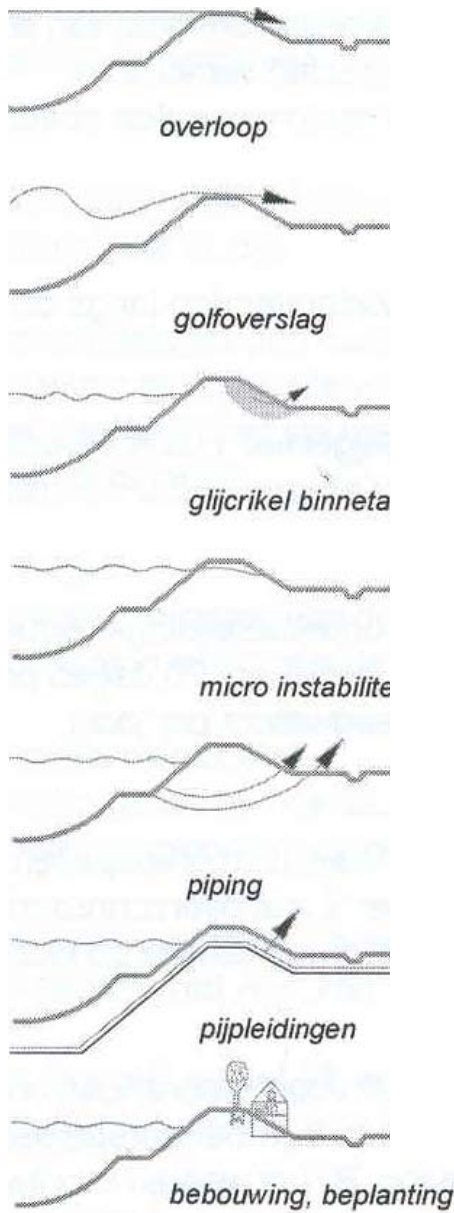
## B. Overstromingen

---

### B1 Inleiding

De laatste jaren is veel aandacht besteed aan overstromingen in verschillende delen van de wereld. Door de recentelijke overstromingen in New Orleans en Suriname is er veel media-aandacht. Toch is de kans op overstromingen ook dichterbij huis aan de orde. Vanwege de ligging van het maaiveld onder het zeeniveau in combinatie met de stijgende waterspiegel is ook in Nederland behoedzaamheid voor overstromingen vereist.

De schade die door overstromingen op kunnen treden zijn aanzienlijk. Indien de oorzaken en de gevolgen beperkt kunnen worden dan zal dit zowel financieel als mentaal veel leed kunnen besparen. Op het gebied van de oorzaken van overstromingen is al veel aandacht besteed aan aspecten als dijkverzwaringen en overloopgebieden. De gevolgen kunnen beperkt worden door bijvoorbeeld waarschuwingssystemen of aangepaste bouwvormen toe te passen. In dit afstudeerwerk zal de focus liggen op het ontwerp van gebouwen in de woonsector. Woningen voorzien in een primaire levensbehoefte en komen overal ter wereld voor.



**Fig. B1(a):** Bezwijkmechanismen dijken

## **B2 Oorzaken van overstromingen**

### **B2.1 Aanvoer water**

Overstromingen komen op vele plaatsen ter wereld voor en kunnen verschillende oorzaken hebben. In deze paragraaf is een overzicht gegeven.

#### **Zee**

Landen die aan een zee of oceaan grenzen kunnen hierdoor een overschot aan water te verwerken krijgen. Onder normale omstandigheden beschermen duinen of dijken het achterliggende land. In geval van extreem hoge waterstanden kan deze bescherming echter ontoereikend zijn. Enkele oorzaken van hoge waterspiegels van een zee of oceaan zijn:

- De rijzende waterspiegel ten gevolge van klimaatveranderingen. (KNMI 2006)
- De bodemdaling door inklinking.
- De getijden ten gevolge van de stand van de zon en de maan.
- Golven ten gevolge van storm en daarbij optredende opstuwing.
- Een tsunami; een plotseling door zeebevingen opgewekte vloedgolf.

Vaak is een combinatie van meerdere aspecten de oorzaak van extreem hoge waterstanden. De duinen en dijken kunnen overlopen of bezwijken.

#### **Rivieren**

In de binnenlanden kunnen overstromingen optreden door aanvoer vanuit de rivieren. Hoge afvoeren ontstaan door:

- Hevige en langdurige regenval bovenstrooms.
- Het plotseling ontstaan van veel smeltwater ten gevolge van dooi in bovenstrooms.

De piekafvoer kan voor zodanige waterstanden zorgen dat de rivier buiten zijn oevers treedt, of dat de dijken onder de belasting bezwijken.

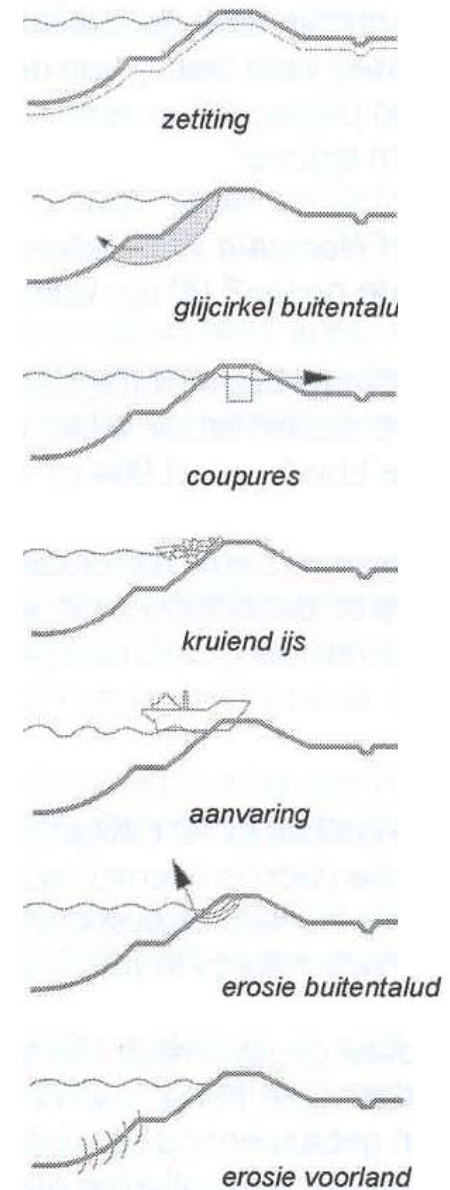
#### **Neerslag**

In geval van hevige neerslag is het debiet soms zodanig dat niet al het water afgevoerd kan worden. Door hoogteverschillen in het landschap kunnen er gevaarlijke stromingen ontstaan.

## **B2.2    *Bezwijken van waterkerende werken***

Een hoge waterstand levert pas problemen op indien de waterkerende werken niet meer in staat zijn om het water tegen te houden. Hiernaast zijn de mogelijke bezwijkmechanismen van dijken weergegeven. (d'Angremond 2003)

De wijze van bezwijken heeft invloed op de hoeveelheid en de stroomsnelheid van het doorgelaten water.



**Fig. B1(b):** Bezwijkmechanismen dijken

### **B3 Reductie oorzaken**

#### *Voorkomen en voorspellen*

In deze paragraaf is weergegeven of de hiervoor genoemde oorzaken van overstromingen beïnvloed of voorspeld kunnen worden.

|                       |                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rijzende waterspiegel | Het reduceren van deze ontwikkeling is mogelijk door de oorzaak, de klimaatveranderingen, aan te pakken. Onderzocht moet worden hoe dit het meest effectief gedaan kan worden.                       |
| De getijden           | De waterstand onder invloed van zon en maan kan niet beïnvloed, maar wel voorspeld worden.                                                                                                           |
| Stormgolven           | Hoge golfslag ten gevolge van wind kan niet voorkomen worden, echter in de meeste gevallen wel voorspeld.                                                                                            |
| Tsunami               | De golven ten gevolge van een tsunami zijn niet te voorkomen. Slechts enkele uren van tevoren kan de komst van een vloedgolf voorspeld worden door het gebruik van waarschuwingssystemen.            |
| Piekafvoer rivieren   | Een piekafvoer in een rivier kan in beperkte mate verkleind worden door buffering. (Dijkman and Pedroli 1994) Een bedreigend hoge afvoer kan tot maximaal enkele dagen van tevoren voorspeld worden. |
| Extreme neerslag      | De aanvoer van direct hemelwater kan niet gereduceerd worden. De maximale afvoer kan echter beïnvloed worden door de mate van ontbossing en bebouwing te reduceren.                                  |

### *Conclusie*

De oorzaken van extreme waterstanden zoals die in paragraaf B2.1 beschreven zijn, zijn maar voor een beperkt deel weg te nemen. In de meeste gevallen is een voortijdige signalering ervan wel mogelijk. Het bezwijken van dijken kan gereduceerd worden door dijkverzwaring en/of verlegging. Dit afstudeeronderzoek zal zich echter richten op het reduceren van de gevolgen van overstromingen.

## **B4 Schades**

Ten gevolge van een verhoogde waterstand kunnen aanzienlijke schades optreden. Onderscheid wordt gemaakt tussen materiële en immateriële schade.

### *Materiële schade*

De inrichting van het landschap is niet berekend op de hoge waterstanden die bij een overstroming optreden. Indien bebouwing onder water komt te staan, zal dit vrijwel altijd schade opleveren aan zowel het gebouw zelf als aan datgene wat het gebouw huisvest. Persoonlijke en zakelijke bezittingen lopen waterschade op of worden geheel onbruikbaar. De gebouwde constructie kan bezwijken door de door het water veroorzaakte belastingen. Ook de wederopbouw na een watersnood is een grote kostenpost; waterkeringen zijn mogelijk bezwiken en civiele werken onbruikbaar geworden.

Een onderdeel van dit afstudeerwerk is het ontwerpen van een woning die bij overstromingen minimale schade oploopt. Om dit te kunnen doen is het belangrijk om te weten wat de grootste schade posten is zijn.

Verzekeraars letten bij claims vooral op de volgende gevallen: (Noy and Douglas 2005)

- Steenachtige materialen die beschadigd raken door erosie en slijtage.
- Scheuren die ontstaan bij houtskeletbouw door zwelling en krimp.
- Metalen constructie-elementen die aangetast worden door corrosie.
- Kristal- en schimmelaanslag op verschillende ondergronden.
- Funderingspalen en vloeren die beschadigen ten gevolge van zwellende kleilagen.

### *Immateriële schade*

Naast de materiële schades zullen ook immateriële schades voorkomen. Deze zijn vaak moeilijk in geld uit te drukken. Vooral de invloed op de bewoners kan ingrijpend zijn. De dreiging van een (herhaaldelijke) ramp kan mensen doen besluiten niet in een bepaald gebied te willen wonen.

Economische schade treedt op doordat tijdens en na de periode van hoogwater veel activiteiten geheel of gedeeltelijk stil komen te liggen. Bewoners van een rampgebied kunnen gezondheidsklachten of letsel oplopen ten gevolge van een overstroming.

## **B5 Bescherming**

Om de optredende schade bij het onder water lopen van een landdeel te beperken worden in sommige gebieden aanpassingen aan gebouwen gedaan. Dit gebeurt in de gebieden waar de kans op schade zo groot is dat de extra kosten voor de aanpassingen rendabel zijn.

Hieronder zijn een aantal methoden weergegeven die toegepast zijn om gebouwen en het interieur te beschermen tegen dreigend water.

### **B5.1 Permanente bescherming**

#### *Terpen*

De meest voor de hand liggende methode om een huis tegen hoog water te beschermen is door deze boven het maximale waterniveau te bouwen. Door kunstmatig grond aan te brengen ontstaan zogenaamde terpen. Op deze plaatselijke verhogingen kunnen een enkel huis of een geheel dorp gebouwd worden. Zeker voor de komst van de dijken waren terpen een veel voorkomende vorm van bescherming tegen hoog water. De eerste terpen in Nederland ontstonden in 500 v. Chr., voornamelijk in de noordelijke delen van het land. (Wikipedia 2008)

De gebruikte grond kan bestaan uit veen, baggerspecie of zand. De taluds mogen een maximale hellingshoek hebben om stabiel te blijven, zowel onder droge als onder natte omstandigheden.



**Fig. B2: Een terp in de polder van Dordrecht**



**Fig. B4: Primitieve woningen in Cambodja**



**Fig. B5: Tijdelijke verhoging in Pennsylvania**



**Fig. B6: Paalwoning op riviereiland in Belgrado**

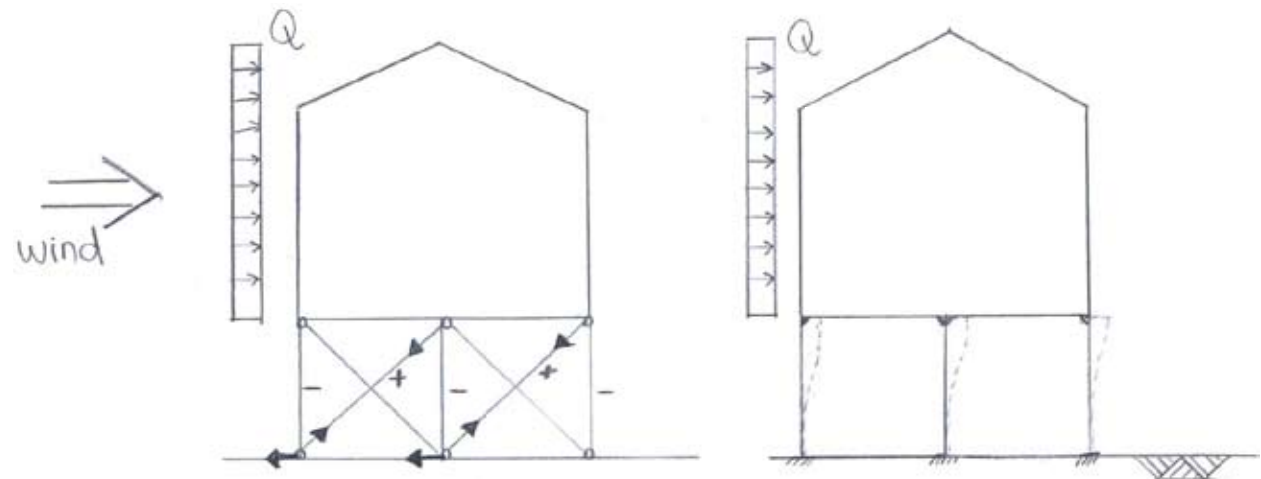
### *Paalwoningen*

Door terpen te creeën wordt de ondergrond van een gebouw op een hoger niveau gebracht. Een andere mogelijkheid is het hanteren van het maaiveldniveau in combinatie met het aanpassen van de constructie. Deze constructie wordt dan zodanig uitgevoerd dat het vloerniveau van het gebouw boven het te verwachten waterniveau uitkomt. Ook is het mogelijk deze paalwoningen te construeren op plaatsen waar constant water aanwezig is, zoals in moerassen en meren.

Naast belastingen ten gevolge van hoogwater krijgen de paalwoningen hoge windkrachten te verduren. Verticale kolommen moeten vergezeld worden van diagonalen om de horizontale krachten af te kunnen dragen. Is dit niet het geval, dan dienen de kolommen een moment op te kunnen nemen. Dit heeft consequenties voor het materiaalgebruik. Ook moeten de kolommen op trek belast kunnen worden, om de opwaartse windstuwing te kunnen weerstaan.

Indien de kolommen regelmatig in het water staan, moeten de materialen hiertegen bestand zijn. Indien de waterstand fluctueert kunnen de kolommen snel aangetast worden, zeker wanneer het om onbeschermd hout gaat.

Paalwoningen komen op vele plaatsen ter wereld voor. Zowel moderne gebouwen in de uiterwaarden van westerse landen als hutten op palen in derdewereldlanden. Hiernaast is een aantal afbeeldingen opgenomen om de diversiteit in deze woningsoort te illustreren.



**Fig. B3: Schematisatie van paalwoningen met en zonder diagonalen**

### *Drijvende woningen*

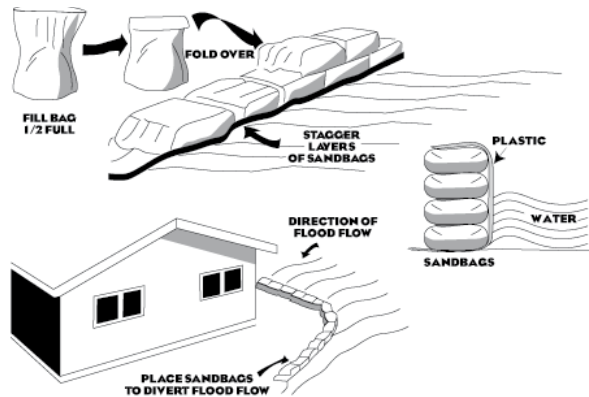
Een andere mogelijkheid is het omhoog brengen van een woning op de momenten dat dat nodig is. Het stijgende water wordt hiervoor als middel gebruikt. Door de woningen te voorzien van drijvende elementen zullen deze opgestuwd worden bij hoge waterstanden.

De drijvers dienen een lagere dichtheid dan water te hebben om een opwaartse kracht door het water te creëren. Mogelijkheden zijn holle betonnen elementen of schuimblokken. Daarnaast moet de gehele constructie licht uitgevoerd worden om het drijven mogelijk te maken. Voorbeelden van toegepaste materialen zijn houten skeletten en aluminium gevelbekleding.

Woningen kunnen permanent drijven, zoals woonboten in grachten en kanalen. Woongebouwen kunnen echter ook deels op vaste grond steunen. Enkel in uitzonderlijke gevallen zal de omgeving van de woning onder water lopen. Een voorbeeld zijn de 32 woningen in een buitendijks gebied in Maasbommel, gerealiseerd door het bouwconcern Dura Vermeer. Deze woningen worden bij hoogwater langs verticale rails omhoog geleid. Voorzieningen als elektriciteitsleidingen en rioleringen zijn flexibel aangesloten.



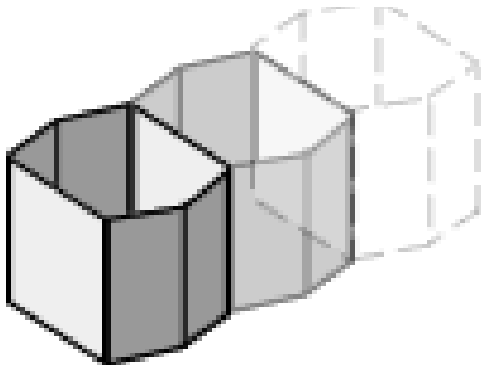
**Fig. B7: De woningen in Maasbommel**



**Fig. B8: Bescherming door zandzakken**



▼ ▲ **Fig. B9: De Concertainer van Hesco**



### **B5.2 Tijdelijke bescherming**

Tijdelijke oplossingen kunnen worden aangevoerd in geval van dreigend hoogwater. Ze kunnen een waterkerende of anderszins beschermende functie hebben. Tijdelijke oplossingen kunnen ook als aanvulling op permanente beschermingsmiddelen dienen.

Vanwege de eenvoud ervan worden vaak zandzakken als tijdelijke waterkering toegepast. Zakken van jute of plastic weefsel worden gevuld met zand of klei en opgestapeld om een barrière te vormen.

Modernisering van het oorspronkelijke concept heeft erin geresulteerd dat er ook andere systemen op de markt zijn gekomen. (Eijk 2002) Een voorbeeld is de Concertainer van de firma Hesco. Deze hexagonaal is stabiel en kan snel gevuld worden.

Een andere mogelijkheid tot tijdelijke bescherming is het gebruik van houten schotten. Het aanbrengen ervan vergt meer kunde dan het plaatsen van zandzakken. De houten schotten worden vooral gebruikt om het water in een bepaalde richting te leiden. Vooral in hellende gebieden wordt deze methode toegepast.

De houten platen kunnen ook direct tegen het gebouw worden geplaatst, zoals in figuur B11. Op deze wijze worden openingen zoals deuren en ramen beschermd tegen water en windstoten.

Indien een bepaald gebied vaker ongewenst water aangevoerd krijgt uit dezelfde richting kunnen er op voorhand maatregelen worden getroffen om snel een barrière op te kunnen werpen. Zo kunnen bijvoorbeeld de verticale stijlen permanent aanwezig zijn. Een voorbeeld is het gepatenteerde DPS 2000 systeem. De stalen stijlen, of in ieder geval de funderingen, zijn reeds op voorhand geïnstalleerd. Bij dreigend water hoeven enkel horizontale aluminium profielen geplaatst te worden om een dichte kering op te werpen.

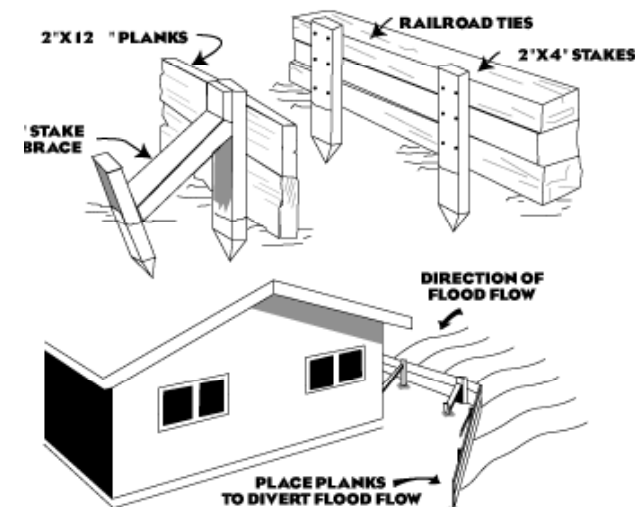


Fig. B10: Uit hout vervaardigde barrières

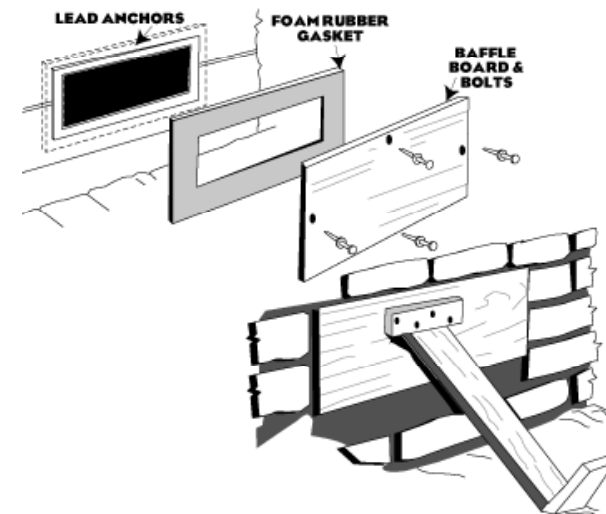


Fig. B11: Barricaderen ramen

## **B6    Ontwerpeisen**

Om een ontwerp voor een vloedbestendige woning te kunnen maken is het noodzakelijk om de mogelijk optredende situaties te kennen. In deze paragraaf is een overzicht gegeven van de vereiste aanpassingen aan gebouwen in risicogebieden.

In de Nederlandse bouwnormen is er nauwelijks aandacht besteed aan hoogwater. Voor gebieden waarin dergelijke situaties vaker voorkomen zijn echter wel ontwerpregels opgesteld, bijvoorbeeld voor gedefinieerde risicogebieden in de Verenigde Staten. (ASCE 2006)

### ***Samenvatting ASCE standard Flood Resistant Design and Construction (in SI eenheden)***

#### *Classificatie gebouwen*

- |               |                                                                                                                                                                         |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categorie I   | Gebouwen voor agrarische doeleinden, opslag en tijdelijke bebouwing.                                                                                                    |
| Categorie II  | Gebouwen anders dan beschreven in categorie I, III en IV.                                                                                                               |
| Categorie III | Gebouwen die bij instorting gevaar opleveren voor personen.<br>Voorbeelden: Gebouwen van detentie, scholen, algemene utiliteitsgebouwen.                                |
| Categorie IV  | Gebouwen met noodzakelijke faciliteiten.<br>Voorbeelden: Ziekenhuizen, politie- en brandweerstations, schuilkelders, gebouwen van defensie, controlecentrum luchthaven. |

#### *Waterpeilen*

- |     |                                                                                                                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BFE | Base Flood Elevation<br>Waterstand bij hoog water, inclusief de golfhoogte met een overschrijdingskans van 1% in een jaar.                                     |
| DFE | Design Flood Elevation<br>Ontwerp waterstand hoog water, inclusief de golfhoogte.<br>Het DFE niveau is per gebied opgegeven door verantwoordelijke instanties. |

### *Minimaal vloerniveau*

Het vloerniveau van kunstmatig verhoogde woningen moet voldoen aan de volgende eisen:

| Gebouw categorie | Minimum niveau (hoogste waarde) |
|------------------|---------------------------------|
| I                | DFE                             |
| II               | BFE+30 cm of DFE                |
| III              | BFE+30 cm of DFE                |
| IV               | BFE+60 cm of DFE                |

**Tabel B1: Minimaal vloerniveau gebouwcategorieën I t/m IV**

Volledig gesloten delen van het gebouw zoals kelders en garageboxen mogen onder DFE niveau geconstrueerd worden.

### *Openingen*

In het geval van constructies met het vloerniveau onder DFE, zijn er openingen vereist om water weer weg te kunnen laten vloeien na hoogwater. De eisen en richtlijnen zijn:

- De openingen zijn in ten minste twee zijden van de constructie aanwezig.
- De minimale totale opening is 70 cm<sup>2</sup> per vierkante meter vloeroppervlakte.
- De onderkant van een opening bevindt zich maximaal 30 cm boven maaiveld.
- Het verschil in waterniveau intern en extern mag maximaal 30 cm bedragen.

### *Diagonalen*

Om verticale krachten ten gevolge van wind en water op te nemen zijn diagonalen nodig op het moment dat palen of kolommen meer dan 3.0 meter boven het maaiveld uitsteken. Hierbij moet er rekening gehouden worden met het feit dat het maaiveldniveau kan dalen ten gevolge van erosie.

Stangen of kabels als trekdiagonaal dienen een minimale doorsnede van 8 mm te hebben en dienen te worden gegalvaniseerd of uitgevoerd te worden in een roestvast metaal.

### *Aansluitingen*

Aansluitpunten voor elektriciteit en licht dienen boven het in tabel B1 aangegeven niveau aangebracht te worden. Alle onderdelen en bekabeling onder DFE dienen waterdicht uitgevoerd te zijn. Sanitaire systemen mogen geen openingen onder de niveaus uit tabel B1 bezitten, dit om overbelasting door instromend water te voorkomen.

#### **Noot:**

Bovenstaande samenvatting is zeer algemeen, er is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende risicogebieden en oorzaken van hoogwater. Wordt dit wel gedaan, dan moet er onderscheid gemaakt worden tussen rivier- en kustgebieden. Over het algemeen gelden de volgende verschillen:

#### Rivierengebied

- Langdurigere en hogere waterstanden
- De stroomrichting is beter voorspelbaar

#### Kustgebied

- Golfeffecten zijn groter
- Hogere windsnelheden

## B7 Belastingen

Om een ontwerp voor een vloedbestendige woning te kunnen maken is het noodzakelijk de mogelijk optredende belastingen te kennen. In deze paragraaf is een overzicht gegeven van belastingen ten gevolge van water en wind.

Bij gebrek aan informatie in de Nederlandse bouwnormen is de Amerikaanse normering aangehouden. (ASCE 2003)

### *Watersnelheid*

Voor rivieren in kustgebieden geldt voor de watersnelheid een waarde tussen

$$V = d_s / (1 \text{ sec})$$

en

$$V = (g * d_s)^{0.5}$$

met:

$V$  = gemiddelde snelheid van het water (m/s)

= locale waterdiepte (m) (stilstaand water)

$g$  = valversnelling ( $\approx 10 \text{ m/s}^2$ )

### *Golfkracht op palen*

De krachten uit golfslag op verticale palen is als volgt:

$$F_D = 0.5 \gamma_w C_D D H_b^2$$

met:

$F_D$  = golfkracht [kN]

$\gamma_w$  = dichtheid water [kN/m<sup>3</sup>] (9.8 voor zoet water, 10.05 voor zout water)

$C_D$  = coëfficiënt vorm (1.75 voor ronde kolommen, 2.25 voor vierkante kolommen)

$D$  = kolomdiameter [m] (voor vierkante kolommen 1.4 maal de breedte)

$H_b$  = golfhoogte [m]

### Veldbelasting

Een combinatie van statische belasting (waterdruk) en dynamische belasting (golfbeweging).

$$P_{\max} = C_p \gamma_w d_s + 1.2 \gamma_w d_s$$

$$F_t = 1.1 C_p \gamma_w d_s + 2.4 \gamma_w d_s$$

met:

$P_{\max}$  = maximaal gecombineerde dynamische en statische last [kN/m<sup>2</sup>]

$F_t$  = lijnlast door golfbewegingen [kN/m] (op hoogte  $d_s$ )

$C_p$  = coëfficiënt dynamische druk ( $1.6 < C_p < 3.5$ , tabel B2)

$\gamma_w$  = dichtheid water [kN/m<sup>3</sup>] (9.8 voor zoet water, 10.05 voor zout water)

$d_s$  = locale waterdiepte [m] (stilstaand water)

### DYNAMIC PRESSURE COEFFICIENT

| Building Category | $C_p$ |
|-------------------|-------|
| I                 | 1.6   |
| II                | 2.8   |
| III               | 3.2   |
| IV                | 3.5   |

Tabel B2

### Stootbelasting

Voorwerpen die meedrijven met de stroom zullen bij botsing een puntlast op de constructie uitoefenen.

$$F = \frac{\pi W V_b C_1 C_0 C_D C_B R_{\max}}{2g \Delta t}$$

$F$  = stootbelasting (N)

$W$  = gewicht object (N)

$V_b$  = snelheid object (m/s) (gelijk aan watersnelheid)

$g$  = valversnelling ( $\approx 10 \text{ m/s}^2$ )

$\Delta t$  = stootduur (s) (tijd tot  $V_b = 0$ )

$C_1$  = coëfficiënt gebouwklasse (tabel B3)

$C_0$  = coëfficiënt oriëntatie = 0.8

$C_D$  = coëfficiënt diepte (fig. B12)

$C_B$  = coëfficiënt stremming (fig. B13)

$R_{\max}$  = maximale reactie verhouding (tabel B6)

### VALUE OF IMPORTANCE COEFFICIENT

| Building Category | $C_1$ |
|-------------------|-------|
| I                 | 0.6   |
| II                | 1.0   |
| III               | 1.2   |
| IV                | 1.3   |

Tabel B3

## Strookbelasting

Naast bovenstaande puntbelasting moet er met een extra veldlast worden gerekend ten gevolge van meegevoerd puin. Deze belasting bestaat een horizontale strook van 30 cm, ten hoogte van de DFE of lager.

In berekeningen wordt de hoogte van de strook verwaarloosd en de last als lijnlast geschematiseerd.

$$Q = 1.48 \text{ kN/m}^1$$

**VALUES OF BLOCKAGE COEFFICIENT,  $C_B$**

| Degree of Screening or Sheltering within 100 ft Upstream | $C_B$ |
|----------------------------------------------------------|-------|
| No upstream screening, flow path wider than 30 ft        | 1.0   |
| Limited upstream screening, flow path 20 ft wide         | 0.6   |
| Moderate upstream screening, flow path 10 ft wide        | 0.2   |
| Dense upstream screening, flow path less than 5 ft wide  | 0.0   |

**Tabel B4**

**VALUES OF RESPONSE RATIO FOR IMPULSIVE LOADS,  $R_{MAX}$**

| Ratio of Impact Duration to Natural Period of Structure | $R_{max}$ (Response Ratio for Half Sine Wave Impulsive Load) |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 0.00                                                    | 0.0                                                          |
| 0.10                                                    | 0.4                                                          |
| 0.20                                                    | 0.8                                                          |
| 0.30                                                    | 1.1                                                          |
| 0.40                                                    | 1.4                                                          |
| 0.50                                                    | 1.5                                                          |
| 0.60                                                    | 1.7                                                          |
| 0.70                                                    | 1.8                                                          |
| 0.80                                                    | 1.8                                                          |
| 0.90                                                    | 1.8                                                          |
| 1.00                                                    | 1.7                                                          |
| 1.10                                                    | 1.7                                                          |
| 1.20                                                    | 1.6                                                          |
| 1.30                                                    | 1.6                                                          |
| $\geq 1.40$                                             | 1.5                                                          |

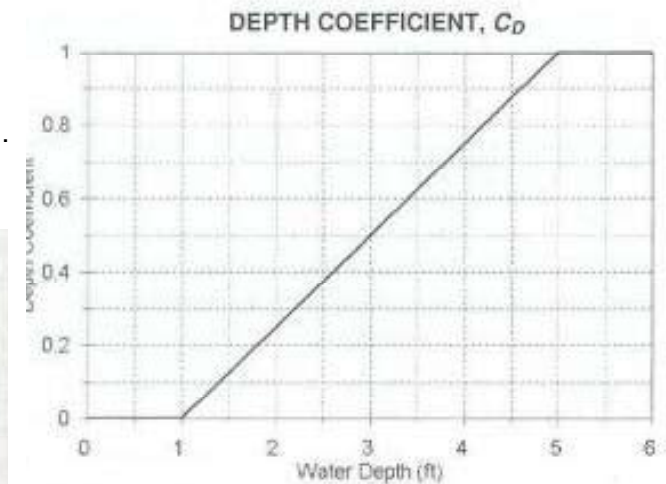
**Tabel B6**

**VALUES OF DEPTH COEFFICIENT,  $C_D$**

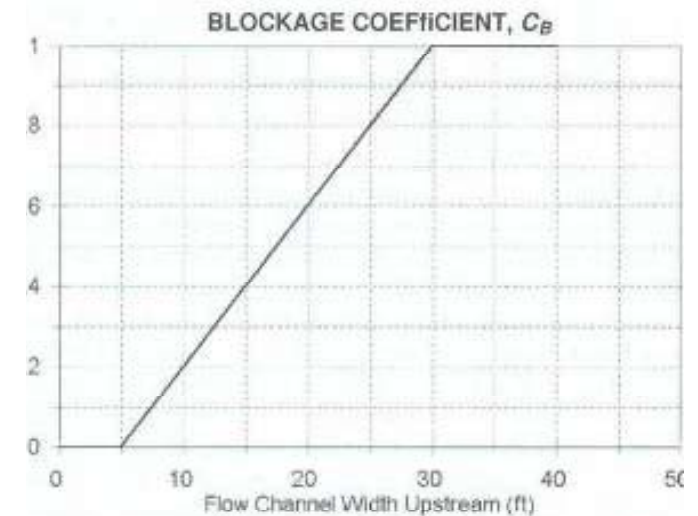
| Building Location in Flood Hazard Zone and Water Depth | $C_D$ |
|--------------------------------------------------------|-------|
| Floodway or V-Zone                                     | 1.0   |
| A-Zone, Stillwater Depth $> 5$ ft                      | 1.0   |
| A-Zone, Stillwater Depth = 4 ft                        | 0.75  |
| A-Zone, Stillwater Depth = 3 ft                        | 0.5   |
| A-Zone, Stillwater Depth = 2 ft                        | 0.25  |
| Any flood zone, Stillwater Depth $< 1$ ft              | 0.0   |

**Tabel B5**

$$1 \text{ FT} = 0.305 \text{ m}$$



**Fig. B12**



**Fig. B13**

## **B8      Voordelen van hoogwater**

Behalve de schades en overlast die optreden ten gevolge van hoogwater zijn er ook enkele voordelen te benoemen. Indien de inrichting van een stuk land zodanig gerealiseerd is dat schade uitblijft bij hoogwater, dan is het mogelijk om het land tijdelijk onder gecontroleerde omstandigheden onder water te laten lopen om deze voordelen te behalen.

### *Vruchtbaar slib*

Opkomend water brengt vaak slib mee. Op het moment dat het overtollige water weer verdwijnt blijft dit als een laagje achter. Dit slib is over het algemeen zeer vruchtbaar door de aanwezigheid van verschillende mineralen.

### *Vergroten biodiversiteit*

Indien planten- en diersoorten bestand zijn tegen hoogwater dan kunnen ze door de waterbeweging verspreid worden over een groter gebied. De biodiversiteit wordt op deze wijze mogelijk vergroot doordat bijvoorbeeld zaden en vissen zich verspreiden. (Beilfuss 2002)

### *Verdediging*

Tijdens conflicten kan ondergelopen land een voordeel bieden voor de bewoners. Indien zij veilig gehuisvest zijn, bijvoorbeeld op een terp, biedt het water bescherming tegen indringers. De hoge waterstand bemoeilijkt het bereiken en aanvallen van het dorp.

## **B9    Samenvatting**

Een overstroming ontstaat wanneer een grote aanvoer van water niet verwerkt kan worden. De oorzaak kan het bezwijken van een civieltechnische constructie langs een rivier of kustlijn zijn. Ook extreme neerslag kan overlast veroorzaken.

De oorzaken van de grote hoeveelheid water zijn niet of nauwelijks te beïnvloeden. Vaak is een hoge waterstand op zee of in rivieren wel te voorspellen. Meer veiligheid kan worden verkregen door waterkeringen te versterken, wat echter buiten de beschouwing van dit afstudeeronderzoek valt.

De schades die veroorzaakt worden door hoogwater zijn zowel immaterieel als materieel. De eerste categorie omvat vooral de psychologische schade die geleden kan worden door slachtoffers. Ook het feit dat de economie in een getroffen gebied stagneert valt hieronder. Materiële schade omvat de herstelkosten van gebouwen, interieur en civiele werken.

Om de schades aan gebouwen en interieur te voorkomen of te reduceren worden een aantal methoden toegepast. Allereerst de permanente methoden, die gebaseerd zijn op het verhogen van een gebouw. Dit is het geval bij paalwoningen of bouwen op terpen. Een andere mogelijkheid is het construeren van drijvende woningen die mee bewegen met het stijgende water. Beschouwd moet worden of de bouw rendabel is.

Tijdelijke beschermingsmiddelen kunnen ingezet worden in dreigende situaties. Vaak toegepaste middelen zijn zandzakken of varianten daarop. Deze hebben een kerende of watersturende functie. Ramen en deuren kunnen gebaricadeerd worden met platen om waterindringing te voorkomen.

In de Nederlandse bouwnormen ontbreekt het aan specifieke eisen voor overstromingsgebieden. De American Society of Civil Engineers (ASCE) heeft wel ontwerpeisen voor dergelijke gebieden opgesteld. Belangrijk is de plaats van aansluitingen van gas, elektriciteit et cetera. Daarnaast is het waarborgen van de stabiliteit van paalwoningen in normen beschreven. Tevens zijn ontwerpbelastingen opgenomen in de ASCE standaard. Het betreft statische en dynamische belastingen. Laatstgenoemden worden veroorzaakt door golfslag en stootbelasting door meestromende objecten.

Het onder water lopen van een stuk land kent ook voordelen. Zo kan de biodiversiteit vergroot worden, een vruchtbare laag slib kan aangevoerd worden en het water kan bescherming bieden tijdens conflicten. Indien de negatieve effecten van hoog water grotendeels voorkomen kunnen worden door de bebouwing aan te passen, dan kan het gecontroleerd onder water laten lopen van een stuk land een interessante optie zijn.

## Referenties

ASCE (2003). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers: 376.

ASCE (2006). Flood Resistant Design and Construction. American Society of Civil Engineers: 61.

Beilfuss, R. (2002). "Restoration Approach: Prescribed flooding." from [http://www.ramsar.org/strp/strp\\_rest\\_appr\\_flooding.htm](http://www.ramsar.org/strp/strp_rest_appr_flooding.htm).

d'Angremond, K. (2003). Inleiding waterbouwkunde. Delft, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Waterbouwkunde.

Dijkman, J. P. M. and G. B. M. Pedroli (1994). Onderzoek Watersnood Maas. Hoofdrapport De Maas Meester. Delft, Waterloopkundig Laboratorium: 184.

Eijk, R. A. v. d. (2002). Alternatieven voor de zandzak als tijdelijke waterkering. Delft, Technische Universiteit Delft, faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen.: 117.

KNMI (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. De Bilt: 82.

Noy, E. A. and J. Douglas (2005). Building surveys and reports.

Wikipedia. (2008). "Terp." Retrieved 25-03-2008, from <http://nl.wikipedia.org/wiki/Terp>.

## Figurenlijst

| <i>Figuur</i> | <i>Bron</i>                           |                                                                |
|---------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| A1            | Boek: Evolution, 2007, N.H.Barton     | <a href="http://www.cshlpress.com">www.cshlpress.com</a>       |
| A2            | Journal: Naturwissenschaften #94 2007 | <a href="http://www.springerlink.com">www.springerlink.com</a> |
| A3            | Illustrated London News, 17-11-1849   | <a href="http://www.iln.org.uk">www.iln.org.uk</a>             |
| A4 - A5       | Wikipedia, 2008                       | <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a>       |
| A6            | Nederlands Architectuurinstituut      | <a href="http://www.nai.nl">www.nai.nl</a>                     |
| A7            | Fotodatabase Flickr                   | <a href="http://www.flickr.com">www.flickr.com</a>             |
| B1(a)         | TU Delft 2003, Collegedictaat         |                                                                |
| B1(b)         | Inleiding Waterbouwkunde              |                                                                |
| B2            | Fotodatabase Flickr                   | <a href="http://www.flickr.com">www.flickr.com</a>             |
| B3            | Eigen tekenwerk                       |                                                                |
| B4 - B6       | Fotodatabase Flickr                   | <a href="http://www.flickr.com">www.flickr.com</a>             |
| B7            | Dura Vermeer                          | <a href="http://www.duravermeer.nl">www.duravermeer.nl</a>     |
| B8            | Winter Weather Guide                  | <a href="http://www.getreadyslo.com">www.getreadyslo.com</a>   |
| B9            | HESCO Bastion Ltd                     | <a href="http://www.hesco.com">www.hesco.com</a>               |
| B10 - B11     | Winter Weather Guide                  | <a href="http://www.getreadyslo.com">www.getreadyslo.com</a>   |
| B12 - B13     | ASCE standard 7-02                    | <a href="http://www.asce.org">www.asce.org</a>                 |

## Literatuur

In dit literatuuronderzoek is niet naar alle geraadpleegde literatuur verwezen.  
Hieronder een overzicht van alle geraadpleegde literatuur:

- [1] Arup. (2005). "Beijing National Stadium, Olympic Green." Retrieved 25-02-2008, from <http://www.arup.com/eastasia/project.cfm?pageid=2184>
- [2] ASCE (2003). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers: 376
- [3] ASCE (2006). Flood Resistant Design and Construction. American Society of Civil Engineers: 61
- [4] Beilfuss, R. (2002). "Restoration Approach: Prescribed flooding." from [http://www.ramsar.org/strp/strp\\_rest\\_appr\\_flooding.htm](http://www.ramsar.org/strp/strp_rest_appr_flooding.htm)
- [5] Biomimicry Institute. "Biomimicry Database." from <http://database.biomimicry.org/>
- [6] Chen, C. L. et al. (2005). Design as a natural Phenomenon". Eindhoven.
- [7] Chia Loy Theng, K. (1999). "Discuss the differences between what the Crystal Palace contained at the time of its opening AND its design and decoration. Make particular reference to a select number of the exhibits and building materials, construction and maintenance procedure." from [http://www.geocities.com/soho/workshop/5220/history/Crystal/crystal\\_palace.html](http://www.geocities.com/soho/workshop/5220/history/Crystal/crystal_palace.html)
- [8] d'Angremond, K. (2003). Inleiding waterbouwkunde. Delft, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Waterbouwkunde
- [9] Dijkman, J. P. M. and G. B. M. Pedroli (1994). Onderzoek Watersnood Maas. Hoofdrapport De Maas Meester. Delft, Waterloopkundig Laboratorium: 184
- [10] Eijk, R. A. v. d. (2002). Alternatieven voor de zandzak als tijdelijke waterkering. Krimpen aan den IJssel: 117

- [11] FEMA (1993). "Non-Residential Floodproofing - Requirements and Certification", FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY: 17
- [12] K. Bach et al (1990). Radiolaria. Stuttgart, Karl Kramer Verlag
- [13] K. Bach et al. (1984). Diatomeen I. Stuttgart, Karl Kramer Verlag
- [14] KNMI (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. De Bilt
- [15] Nachtigall, W. (2003). Bau-Bionik. Berlin, Springer
- [16] Noy, E. A. and J. Douglas (2005). Building surveys and reports
- [17] Roger, A. (2007). Beijing Olympic Stadium 2008 as Biomimicry of a Bird's Nest. Quebec, Canada, McGill University: 17
- [18] SLO. (1998). "Winter Weather Guide." Retrieved 1-4-2008, from <http://www.getreadyslo.com/winterweather.html>.
- [19] Thompson, D. A. W. (1992). On Growth and Form:. New York, Dover Publications inc.
- [20] Wesche, P. (2004). "Biomimicry for Sustainable Innovation: Romanticising about nature's design?" Retrieved 11-03-2008, from [http://www.thinkcycle.org/tc-bboard/message-threaded?message\\_id=50266&forum\\_id=40411](http://www.thinkcycle.org/tc-bboard/message-threaded?message_id=50266&forum_id=40411)
- [21] Wikipedia. (2008). "Beijing National Stadium." Retrieved 28-02-2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/Beijing\\_National\\_Stadium](http://en.wikipedia.org/wiki/Beijing_National_Stadium)
- [22] Wikipedia. (2008). "Bionics. Retrieved 11-03-2008, from <http://en.wikipedia.org/wiki/Bionics>
- [23] Wikipedia. (2008). "The Crystal Palace." Retrieved 26-02-2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Crystal\\_Palace](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace)
- [24] Wikipedia. (2008). "Evolutietheorie." Retrieved 13-03-2008, from <http://nl.wikipedia.org/wiki/Evolutietheorie>

- [25] Wikipedia. (2008). "Herzog & de Meuron." Retrieved 26-02-2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/Herzog\\_&\\_de\\_Meuron](http://en.wikipedia.org/wiki/Herzog_&_de_Meuron)
- [26] Wikipedia. (2008). "Joseph Paxton." Retrieved 28-02-2008, from [http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Paxton](http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Paxton)
- [27] Wikipedia. (2008). "Terp." Retrieved 26-03-2008, from <http://nl.wikipedia.org/wiki/Terp>

## Beoordeling literatuur

Niet elke referentie is even objectief en betrouwbaar. Het artikel kan onjuistheden bevatten of onvolledig zijn. Geïnterpreteerd is in welke mate een referentie bruikbaar is. Om te kunnen oordelen is een classificatie in drie groepen gemaakt:

1. Deze bron is objectief geschreven, verwijst naar meerdere betrouwbare referenties en wordt zelf ook meerdere malen als referentie gebruikt. De auteur heeft affiniteit met het onderwerp en heeft bij voorkeur soortgelijke publicaties op zijn naam staan.
2. Aan één van bovenstaande eisen wordt niet voldaan. Echter een ondergeschikt belang van de referentie voor het verloop van het afstudeeronderzoek kan reden zijn om deze referentie op te nemen om in achtergrondinformatie te voorzien. Voorbeelden van dergelijke bronnen zijn (online) encyclopedieën.
3. Meerdere voorwaarden om een goede referentie te vormen ontbreken hier. Getracht wordt om een alternatieve referentie op te nemen.

|         | <i>Opmerkingen:</i>                                                                                                  | <i>Klasse:</i> |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| [1]     | Informatie is verschaft door medewerker Arup.                                                                        | 2              |
| [2,3]   | ASCE heeft monopolypositie voor het opstellen van normen                                                             | 1              |
| [4]     | Zowel auteur als publicist bekend in het werkkterrein. Veel referenties.                                             | 1              |
| [5]     | Rocky Mountain Institute publiceert objectief en volledig.                                                           | 1              |
| [6]     | Rapport door studenten met weinig affiniteit met onderwerp.                                                          | 3              |
| [7]     | Artikel gepubliceerd door universiteit. Geen referenties.                                                            | 2              |
| [8]     | Gecontroleerd dictaat voor onderwijsdoeleinden                                                                       | 1              |
| [9]     | Auteur heeft expertise op onderzoeksterrein. Opdrachtgever: Ministerie                                               | 1              |
| [10]    | Afstudeerrapport student TU Delft. Onder begeleiding van experts.                                                    | 1              |
| [11]    | FEMA is een belangrijke speler in haar vakgebied. Veel expertise.                                                    | 1              |
| [12,13] | Vrijwel alleen referenties in deze publicatie. Deze zijn hoogwaardig.                                                | 1              |
| [14]    | Voldoende wetenschappelijk onderbouwd rapport                                                                        | 1              |
| [15]    | Auteur heeft veel expertise en vergelijkbare publicaties                                                             | 1              |
| [16]    | Betrouwbare uitgever, echter weinig technische diepgang.                                                             | 2              |
| [17]    | Compilatie door universiteitsstudenten , enkel online bronnen.                                                       | 2              |
| [18]    | Auteur onbekend, zeer informele schrijfstijl                                                                         | 3              |
| [19]    | Zeer uitgebreid en volledig, gereviseerde druk.                                                                      | 1              |
| [20]    | Discussie door personen met geringe expertise. Uitspraken gecontroleerd.                                             | 2              |
| [21-27] | De online encyclopedie is geraadpleegd voor (historische) achtergrondinformatie. Gegeven referenties zijn beschouwd. | 2              |



## Bijlage II: Lijst EMAB-locaties

Directoraat-Generaal Ruimte  
Directie Nationaal en Internationaal Beleid  
Cluster Water & Groene Ruimte

Rijnstraat 8  
Postbus 30940  
2500 GX Den Haag  
Interne postcode 350

Telefoon 06-52511816 / 66546  
Fax 070-3391238  
www.vrom.nl

Gedeputeerde Staten van Gelderland  
Postbus 9080  
6800 GX Arnhem

### Definitieve lijst Experimenten met aangepast bouwen

| Datum | Kenmerk | Bijlage(n)                     |
|-------|---------|--------------------------------|
|       |         | Randvoorwaarden voor projecten |

Uw brief  
d.d. 1 maart 2005

Geacht College,

In mijn brief van 25 januari 2005 met kenmerk M22 heb ik u geïnformeerd over mijn voornemen om te komen tot een limitatieve lijst met locaties in het winterbed van de grote rivieren ten behoeve van "Experimenten met aangepast bouwen" (zogenaemde EMAB-locaties). Mede naar aanleiding van uw reactie heb ik – mede namens de Staatssecretaris van Verkeer & Waterstaat - de lijst aangepast en enigszins uitgebreid.

De locaties op de lijst zijn voor een deel stedelijke stadsfronten langs de rivier, waar men de ruimtelijke kwaliteit wil verbeteren, voor een deel recreatieve bestemmingen en voor een deel waardevolle cultuurhistorische objecten die leegstaan en vervallen dreigen te raken en waarvoor het moeilijk is een riviergebonden bestemming te vinden.

De definitieve lijst met experimentele locaties is als volgt:

- Waalfront Zaltbommel, gemeente Zaltbommel
- Stadsblokken-Meinerswijk Arnhem, gemeente Arnhem
- Stadsfront Tiel, gemeente Tiel
- IHC-terrein Krimpen a/d Lek, gemeente Nederlek
- Koninginnedijk Grave, gemeente Grave
- Steenfabriek De Koppenwaard Angerlo, gemeente Zevenaar
- Steenfabriek De Bunswaard Beuningen, gemeente Beuningen
- Steenfabriek De Plasserwaard Wageningen, gemeente Wageningen
- Voormalig steenfabrieksterrein Vuren, gemeente Lingewaal
- Recreatiegebied De Gouden Ham, gemeente West Maas en Waal
- Zandmeren Kerkdriel, gemeente Maasdriel
- Lithse Ham, gemeente Lith
- Maasplassen, gemeenten Thorn, Heel, Haelen, Roggel en Neer, Swalmen, Roermond en Maasbracht
- Recreatiegebied 't Leuken, gemeente Bergen
- Uitplaatsing glastuinbouw Hout-Blerick/Baarlo, gemeenten Venlo en Maasbree

Hieronder zal ik kort ingaan op de formele basis van de limitatieve lijst, de aanpassing van de lijst en de samenhang met de evaluatie en aanpassing van de beleidslijn Ruimte voor de Rivier.

- 1 De basis voor de limitatieve lijst met locaties

Het opstellen van een limitatieve lijst met locaties vindt zijn basis in de Nota Ruimte waarin de volgende tekst is opgenomen:



"Op nader aan te duiden plaatsten biedt het rijk ruimte aan experimenten met aangepaste bouwvormen in het winterbed. Het rijk stelt een limitatieve lijst op met de betreffende locaties. Als randvoorwaarden geldt dat daarmee de ruimte voor de rivier op kosten van de initiatiefnemer toeneemt en dat ruimte gemaakt wordt op plaatsen waar dat uit het oogpunt van rivierbeheer het meeste gewenst is (Nota Ruimte, deel 3A, april 2005)."

Op een aantal plaatsen in het winterbed van de grote rivieren komen als gevolg van de werking van de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' ruimtelijke en economisch wenselijke ontwikkelingen tot stilstand. Alhoewel de beleidslijn is bedoeld om de ruimte voor de rivier te behouden, leidt een dergelijke terughoudendheid op verschillende plaatsen tot ruimtelijke knelpunten. Door op de daarvoor aangewezen locaties een project te ontwikkelen waarbij geëxperimenteerd kan worden met aangepaste bouwvormen aan het water, zoals drijvend of op palen, is het mogelijk om een gebied weer een kwaliteitsimpuls te geven in combinatie met meer ruimte voor de rivier.

## **2 De aanpassing van de lijst**

Ten opzichte van de lijst die eerder aan u is voorgelegd, zijn een vijftal locaties toegevoegd, waaronder de locaties Stadsfront Tiel en Steenfabrieksterrein Vuren die u in uw brief heeft aangedragen. De locatie Maasboulevard Venlo is niet langer opgenomen daar inmiddels een Wbr-vergunning is verleend en een convenant is gesloten voor het realiseren van rivierverruiming.

De locaties Huissensche Uiterwaarden in de gemeente Huissen en Drutensche waarden in de gemeente Druten zijn niet toegevoegd, daar deze locaties zijn opgenomen in de PKB Ruimte voor de Rivier. Hierdoor dient de verdere planvorming binnen de randvoorwaarden van de PKB plaats te vinden en te worden afgestemd met de projectorganisatie Ruimte voor de Rivier. Dit kader biedt naar mijn mening voldoende mogelijkheden voor een goede afronding van het planproces. Bovendien geldt voor de Drutense Waarden dat enkele planonderdelen niet voldoen aan de gestelde randvoorwaarden. Dit is tevens het geval bij de Huissense Waarden, hier is geen sprake van ruimtelijke en/of economische achteruitgang of verloederings. De locatie Eiland van Maurik voldeed in onvoldoende mate aan de randvoorwaarden voor locatiekeuze, zoals beschreven in bijlage 2 van mijn brief van 25 januari 2005.

## **3 De aanpassing van de beleidslijn Ruimte voor de Rivier**

De beleidslijn Ruimte voor de Rivier wordt op dit moment aangepast. Naar verwachting zal de aanpassing van de beleidslijn eind 2005 gereed zijn. Voor een aantal locaties die nu zijn afgevallen, geldt dat deze na vaststelling van de aangepaste beleidslijn opnieuw bezien kunnen worden in het licht van de aangepaste beleidslijn. Wellicht is er dan meer ruimte voor ontwikkelingen in combinatie met meer ruimte voor de rivier. Omdat het enerzijds onzeker is op welk moment de aangepaste beleidslijn van kracht wordt en er anderzijds in sommige situaties verwachtingen zijn gewekt ten aanzien van de voorliggende limitatieve lijst met locaties, wil ik niet langer wachten met het vaststellen van deze limitatieve lijst.

Binnen een jaar na het van kracht worden van de aangepaste beleidslijn zal echter in overleg tussen de betrokken partijen een afweging gemaakt dienen te worden voor welke locaties die nu op de lijst staan de aangepaste beleidslijn voldoende ruimte biedt voor de afronding van het project en of er naast de beleidslijn nog behoefte is aan een zelfstandig project. Op dat moment zal ik u nader berichten over de status van deze projecten.

Voor elke activiteit in het winterbed dient een Wbr-vergunning te zijn afgegeven. Dit geldt nu, maar ook na de aanpassing van de beleidslijn.

## **4. Tenslotte**

Ik wil u uitnodigen om bij te dragen aan een voorspoedige uitvoering van de projecten op de locaties van deze lijst. Ik stel voor dat u in samenwerking met betrokken gemeenten concrete projectvoorstellen opstelt en deze in overleg en ter beoordeling voorlegt aan mijn Inspectie en de regionale dienst van Rijkswaterstaat. De randvoorwaarden waaraan projecten dienen te voldoen zijn als bijlage toegevoegd. Daarnaast geldt natuurlijk voor elk project dat het ook moet voldoen aan de eisen van een goede ruimtelijke ordening, zoals voor elk ruimtelijk plan geldt.

Een afschrift van deze brief zal ik sturen aan alle gemeentebesturen die een zogenoemde 'EMAB'-locatie binnen hun grondgebied hebben liggen. Ik verwacht van alle gemeenten die gebruik wensen te maken van deze regeling dat ze - voor zover ze dat nog niet hebben gedaan - zich bereid tonen hun bestemmingsplannen in overeenstemming te brengen met de aangepaste Beleidslijn Ruimte voor de Rivier.

Hoogachtend,

de Minister van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,

Sybilla M. Dekker



## Bijlage – randvoorwaarden voor projecten

### Randvoorwaarden voor een project voor afwijken van de Beleidslijn Ruimte voor de Rivier

a) het project moet zijn gelegen op een locatie die is opgenomen in de “Limitatieve lijst met locaties voor Experimenten met aangepaste bouwvormen”, zoals vastgesteld door de minister van VROM

b) de bouwactiviteit

Bouwactiviteit: een activiteit voor het oprichten van alle soorten bouwwerken waarvoor een vergunning vereist is (bouwvergunning, ontgrondingenvergunning, Wbr-vergunning e.d.)

1. de bouwactiviteit mag niet in strijd zijn met overige bestaande wet- en regelgeving<sup>1</sup>
2. de bouwactiviteit dient een uitvoering te zijn van een opgave voor de ruimtelijke ordening, die past binnen het nationaal en provinciaal ruimtelijk beleid en die de steun van het Rijk en de provincie heeft
3. de gemeente coördineert en steunt de vergunningsaanvraag
4. de bouwactiviteit moet op de locatie van de bouwactiviteit en als gevolg van een genomen rivierverruimende maatregel (zie c.) een netto waterstandsverlagend effect hebben.
5. de mate waarin de ruimtelijke doelstelling wordt gerealiseerd moet in verhouding staan tot de rivierverruimende maatregel
6. de bouwactiviteit en het resultaat ervan mogen geen belemmering vormen voor toekomstige rivierverruimende ontwikkelingen<sup>2</sup>
7. het resultaat van de bouwactiviteit dient zodanig te zijn dat de aanwezigheid van het rivierwater hieraan een meerwaarde geeft en dat het is aangepast aan de aanwezigheid van het rivierwater

c) de rivierverruimende maatregel

1. de rivierverruimende maatregel dient op kosten van de initiatiefnemer uitgevoerd te worden
2. de rivierverruimende maatregel moet gelijktijdig met het resultaat van de bouwactiviteit gerealiseerd worden
3. de rivierverruimende maatregel moet op de locatie van de bouwactiviteit een zodanig waterstandsverlagend effect hebben, dat met inbegrip van het resultaat van de bouwactiviteit nog altijd een netto waterstandsverlagend effect optreedt

<sup>1</sup> Toelichting: zoals de Wet beheer rijkswaterstaatwerken (Wbr), Woningwet, Wet Verontreiniging Oppervlaktewater, Wet Ruimtelijke Ordening.

<sup>2</sup> Toekomstige rivierverruimende ontwikkelingen: o.a. geplande activiteiten in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier of Integrale Verkenningen Maas, Maaswerken, Lange-Termijn-visie Ruimte voor de Rivier.



### Bijlage III: Belastingen woning

#### Verticale belastingen:

##### Eigen gewicht constructie-elementen:

|                                                               | Karakteristiek        |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Warm dak, cellenbeton 200mm + dakbedekking + isolatie (Ytong) | 2.0 kN/m <sup>2</sup> |
| Verdiepingsvloeren kanaalplaat 200 mm (VBI) + afwerking       | 3.0 kN/m <sup>2</sup> |
| Begane grond vloer kanaalplaat 200 mm (VBI) + afwerking       | 3.0 kN/m <sup>2</sup> |
| Dragende gevels, prefab 120mm + isolatie + afwerking (VBI)    | 3.0 kN/m <sup>2</sup> |
| Niet-dragende scheidingswanden                                | 0.5 kN/m <sup>2</sup> |

##### Veranderlijke belastingen:

|                                                                             | Karakteristiek          |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Vloerbelasting verdiepingen                                                 | 1.75 kN/m <sup>2</sup>  |
| Vloerbelasting begane grond                                                 | 3.00 kN/m <sup>2</sup>  |
| Sneeuwbelasting dak                                                         | 0.56 kN/m <sup>2</sup>  |
| Winddruk dak                                                                | 0 kN/m <sup>2</sup>     |
| Windzuiging dak ( $W_i = A_i \cdot C_i \cdot p_w = 1 \cdot 0.4 \cdot 0.7$ ) | -0.28 kN/m <sup>2</sup> |

#### Horizontale belastingen:

##### Veranderlijke belastingen gevels: (pagina B29)

|                                                                                         | Karakteristiek         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Wind druk + zuiging ( $W_i = A \cdot C_i \cdot p_w = 1 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 0.70$ )  | 0.84 kN/m <sup>2</sup> |
| Wind druk + overdruk ( $W_i = A \cdot C_i \cdot p_w = 1 \cdot (0.8 + 0.3) \cdot 0.70$ ) | 0.77 kN/m <sup>2</sup> |

##### Veranderlijke belasting kolommen:

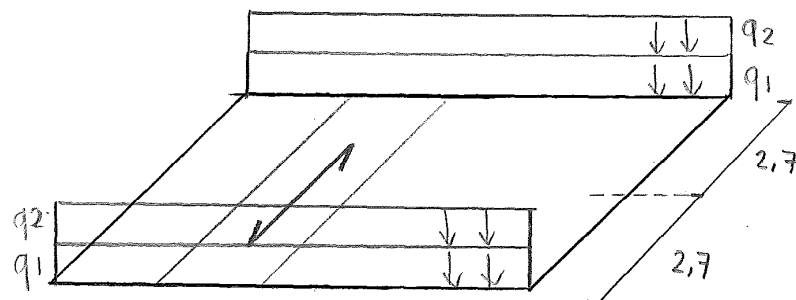
|                                                                                                                                                    | Karakteristiek       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Golfkracht<br>$F_D = 0.5 \gamma_w C_D D H_b^2 = 0.5 \cdot 9.81 \cdot 1.75 \cdot 0.3 \cdot 0.5^2$<br>$H_b = 0.5$ = aanname op basis van (Meer 2004) | 0.65 kN              |
| Lijnlast water h=1,5m<br>$F_t = 1.1 C_p \gamma_w d_s + 2.4 \gamma_w d_s = 1.1 \cdot 3.2 \cdot 9.8 \cdot 1.5 + 2.4 \cdot 9.8 \cdot 1.5$             | 87 kN/m <sup>1</sup> |
| Veldlast t.g.v. water<br>$P_{\max} = C_p \gamma_w d_s + 1.2 \gamma_w d_s = 3.2 \cdot 9.8 \cdot 1.5 + 1.2 \cdot 9.8 \cdot 1.5$                      | 65 kN/m <sup>2</sup> |
| Stootlast meegevoerd puin                                                                                                                          | 10 kN                |

$$F = \frac{\pi W V_b C_1 C_0 C_D C_B R_{\max}}{2g\Delta t} = \frac{\pi \cdot 2500 \cdot 3.75 \cdot 1.2 \cdot 0.8 \cdot 0.4 \cdot 1 \cdot 1.8}{2 \cdot 10 \cdot 0.1}$$



## Bijlage IV: Belastingen woning

Dak



- q1 = Eigen gewicht dakplaten en afwerking  
 $q_{rep} = b \text{ [m]} * G \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.7 * 2.0 =$   
 q2 = Veranderlijke belasting dak (sneeuw)  
 $q_{rep} = b \text{ [m]} * P_k \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.7 * 0.56 =$

BGT  
[kN/m<sup>1</sup>]

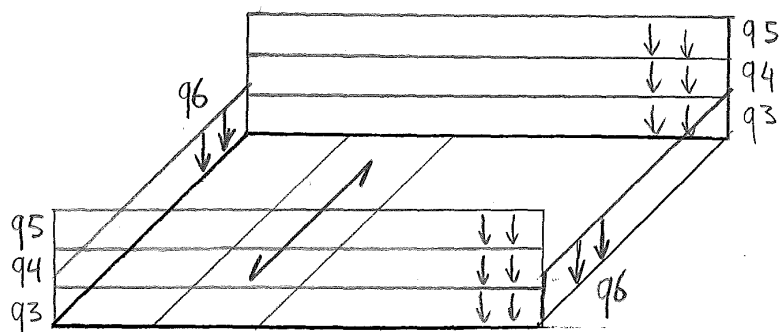
Y

UGT (qd)  
[kN/m<sup>1</sup>]

5.4 1.2 6.5

1.5 1.5 2.3

2<sup>e</sup> verdiepingsvloer



- q3 = Eigen gewicht dragende gevel en afwerking  
 $q_{rep} = h \text{ [m]} * G \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.8 * 2.0 =$   
 q4 = Eigen gewicht vloer en scheidingswanden  
 $q_{rep} = b * (G_{vloer} + G_{wanden}) = 2.7 * (3.0 + 0.5) =$   
 q5 = Veranderlijke belasting vloer  
 $q_{rep} = b \text{ [m]} * P_k \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.7 * 1.75 =$   
 q6 = Eigen gewicht dragende gevel en afwerking  
 $q_{rep} = h \text{ [m]} * G \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.8 * 2.0 =$

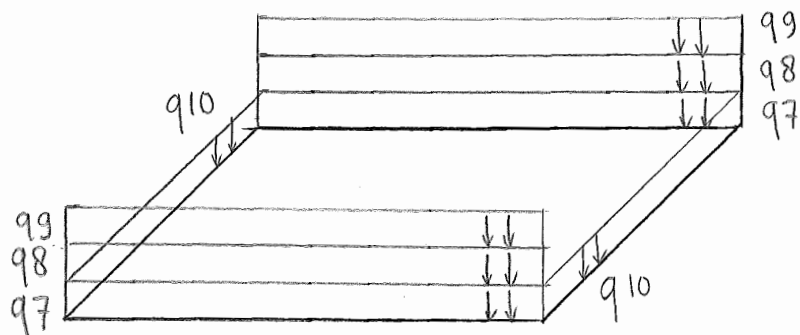
5.6 1.2 6.7

9.5 1.2 11.3

4.7 1.5 7.1

5.6 1.2 6.7

## Verdiepingsvloer



q7 = Eigen gewicht dragende gevel en afwerking

$$q_{rep} = h \text{ [m]} * G \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.8 * 3.0 =$$

q8 = Eigen gewicht vloer en scheidingswanden

$$q_{rep} = b * (G_{vloer} + G_{wanden}) = 2.7 * (3.0 + 0.5) =$$

q9 = Veranderlijke belasting vloer

$$q_{rep} = b \text{ [m]} * P_k \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.7 * 1.75 =$$

q10 = Eigen gewicht dragende gevel en afwerking

$$q_{rep} = h \text{ [m]} * G \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.8 * 3.0 =$$

| BGT<br>[kN/m <sup>1</sup> ] | Y | UGT (qd)<br>[kN/m <sup>1</sup> ] |
|-----------------------------|---|----------------------------------|
|-----------------------------|---|----------------------------------|

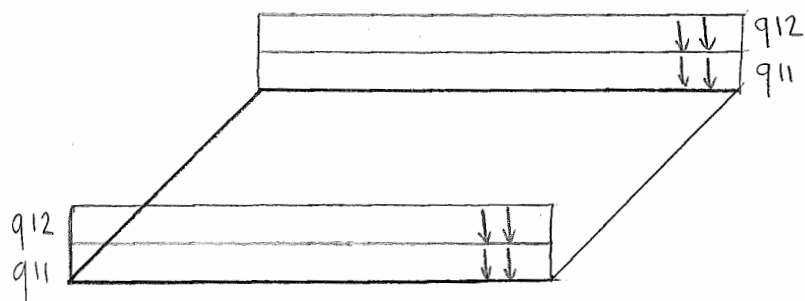
|     |     |      |
|-----|-----|------|
| 8.4 | 1.2 | 10.1 |
|-----|-----|------|

|     |     |      |
|-----|-----|------|
| 9.5 | 1.2 | 11.3 |
|-----|-----|------|

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 4.7 | 1.5 | 7.1 |
|-----|-----|-----|

|     |     |      |
|-----|-----|------|
| 8.4 | 1.2 | 10.1 |
|-----|-----|------|

## Begane grond vloer



q11 = Eigen gewicht vloer

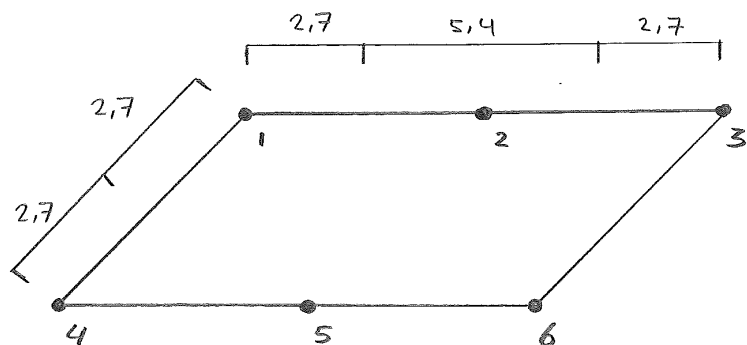
$$q_{rep} = b \text{ [m]} * G \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.7 * 3.0 =$$

q12 = Veranderlijke belasting vloer

$$q_{rep} = b \text{ [m]} * P_k \text{ [kN/m}^2\text{]} = 2.7 * 2.0 =$$

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 8.1 | 1.2 | 9.7 |
|-----|-----|-----|

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 5.4 | 1.5 | 8.1 |
|-----|-----|-----|



Kolommen 1,3,4 & 6:

$$F = 2.7 * (q_1 + \phi_1 * q_2 + q_3 + q_4 + \phi_2 * q_5 + q_7 + q_8 + \phi_3 * q_9) + 2.7 * (q_6 + q_{10})$$

$$F_{rep} = 136 \text{ kN} \quad \text{Bruikbaarheidsgrenstoestand (y = 1,0)}$$

$$F_d = 196 \text{ kN} \quad \text{Uiterste grenstoestand}$$

Kolommen 2 & 5:

$$F = 5.4 * (q_1 + \phi_1 * q_2 + q_3 + q_4 + \phi_2 * q_5 + q_7 + q_8 + \phi_3 * q_9)$$

$$F_{rep} = 242 \text{ kN} \quad \text{Bruikbaarheidsgrenstoestand (y = 1,0)}$$

$$F_d = 302 \text{ kN} \quad \text{Uiterste grenstoestand}$$

### Momentaanfactoren

|              |                           |
|--------------|---------------------------|
| Dak          | $\phi = 0$                |
| Verdieping 2 | $\phi = 0.4$ (woonruimte) |
| Verdieping 1 | $\phi = 1.0$ (vol belast) |
| Begane grond | $\phi = 0.8$ (opslag)     |



## BIJLAGE V: Berekening portalen

De krachten in de stalen draagconstructie zijn in berekend met het 2D-raamwerkprogramma matrixframe.

Het tweede-orde effect wordt meegenomen in de berekening; hiervoor is het nodig alle horizontale en verticale krachten in de berekening op te nemen.

De verticale krachten zijn berekend in bijlage III. De horizontale belastingen zijn afhankelijk van het feit of de gevels geopend of gesloten zijn. Hoewel in de Nederlandse normen een momentaanfactor voor de wind wordt aangehouden van 0, zal er toch gedimensioneerd worden aan de hand van een belastingcombinatie van wind en stromend water. Overstromingen gaan immers vaak gepaard met storm.

*Horizontale belastingen (karakteristiek) :*

$$Q_1 = b * C_i * P_w = 2.70 * (0.8+0.4) * 0.70 = 2.27 \text{ kN/m}^1$$

$R = \text{Resultante } Q_1 = h * Q_2 = 6.00 * 2.27 = 13.61 \text{ kN}$

$R$  wordt verplaatst naar knoop K4 ( $F_1$ ). Het bijbehorende moment wordt vertaald naar twee puntlasten in de knopen K2 & K6.

$$\text{Moment om K4} = x \cdot R = 3,00 \cdot 13.61 = 40.83 \text{ kNm}$$

$$F_2 = 40.83 / 10.80 = 3.78 \text{ kN}$$

Gesloten gevel:

$$Q_2 = b * C_i * P_w = 2.70 * (0.8+0.4) * 0.70 = 2.27 \text{ kN/m}^1$$

Geopende gevel:

## Golfkracht

$$F_D = 0.5\gamma_w C_D D H_b^2 = 0.5 * 9.8 * 1.75 * (1.4 * 0.3) * 0.5^2 =$$

$H_b = 0.5$  = aanname op basis van (Meer 2004)

Lijnlast t.g.v. water op  $h = 1,5\text{m}$  (omgerekend naar puntlast op kolom)

$$F_t = 1.1 C_p \gamma_w d_s + 2.4 \gamma_w d_s = (1.1 * 3.2 * 9.8 * 1.5 + 2.4 * 9.8 * 1.5 * \frac{0.3}{\text{b kolom}}) = 26.1 \text{ kN}$$

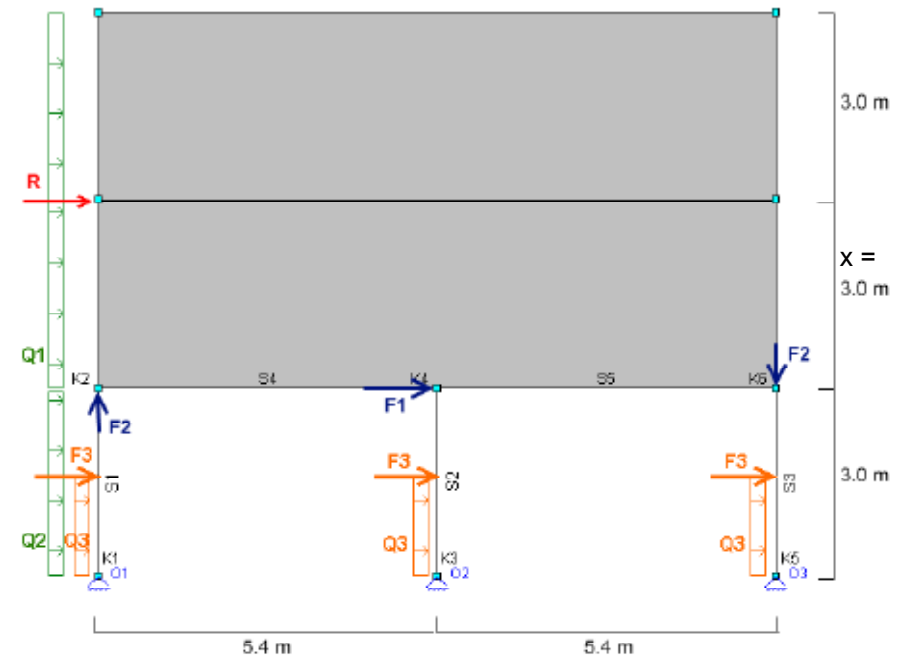
Stootlast meegevoerd puin

$$F = \frac{\pi W V_b C_1 C_0 C_D C_B R_{\max}}{2g\Delta t} = \frac{\pi * 2500 * 3.75 * 1.2 * 0.8 * 0.4 * 1 * 1.8}{2 * 10 * 0.1} = 10.0 \text{ kN}$$

Veldlast t.g.v. water (omgerekend naar lijnlast op kolom)

$$P_{\max} = C_p \gamma_w d_s + 1.2 \gamma_w d_s = (3.2 * 9.8 * 1.5 + 1.2 * 9.8 * 1.5) * \underline{0.3} = Q_3 = 19.5 \text{ kN/m}^1$$

*Vooraanzicht:*



Horizontale belastingen (karakteristiek) :

$$Q_1 = b * C_i * P_w = 5.40 * (0.8+0.4) * 0.70 = 4.54 \text{ kN/m}^1$$

$$R = \text{Resultante } Q_1 = h * Q_2 = 6.00 * 4.54 = 27.24 \text{ kN}$$

R wordt verplaats naar knoop K4 ( $F_1$ ). Het bijbehorende moment wordt vertaald naar twee puntlasten in de knopen K2 & K6.

$$\text{Moment om K4} = x * R = 3.00 * 27.24 = 81.72 \text{ kNm}$$

$$F_2 = 81.72 / 5.4 = 15.13 \text{ kN}$$

Gesloten gevel:

$$Q_2 = b * C_i * P_w = 5.40 * (0.8+0.4) * 0.70 = 4.54 \text{ kN/m}^1$$

Geopende gevel:

Golfkracht

$$F_D = 0.5 \gamma_w C_D D H_b^2 = 0.5 * 9.8 * 1.75 * (1.4 * 0.3) * 0.52 = 0.9 \text{ kN}$$

$H_b = 0.5$  = aanname op basis van (Meer 2004)

Lijnlast t.g.v. water op  $h = 1,5\text{m}$  (omgerekend naar puntlast op kolom)

$$F_t = 1.1 C_p \gamma_w d_s + 2.4 \gamma_w d_s = (1.1 * 3.2 * 9.8 * 1.5 + 2.4 * 9.8 * 1.5) * \frac{0.3}{\text{b kolom}} = 26.1 \text{ kN}$$

Stootlast meegevoerd puin

$$F = \frac{\pi W V_b C_1 C_0 C_D C_B R_{\max}}{2g\Delta t} = \frac{\pi * 2500 * 3.75 * 1.2 * 0.8 * 0.4 * 1 * 1.8}{2 * 10 * 0.1} = 10.0 \text{ kN}$$

$$F_3 = 37.0 \text{ kN}$$

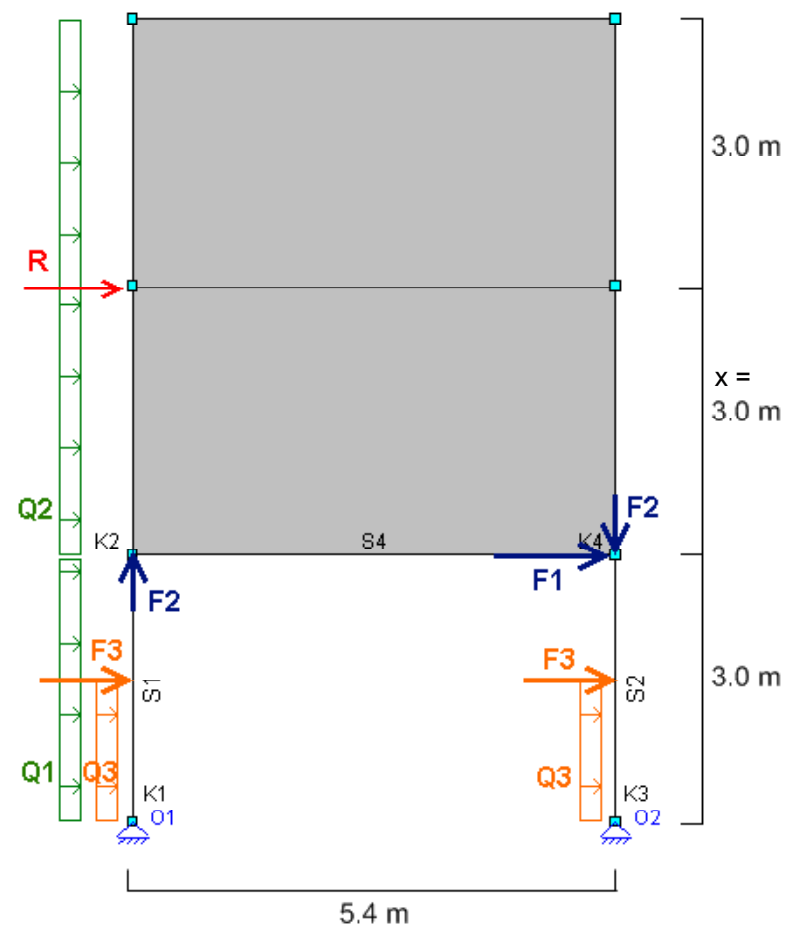
Veldlast t.g.v. water (omgerekend naar lijnlast op kolom)

$$P_{\max} = C_p \gamma_w d_s + 1.2 \gamma_w d_s = (3.2 * 9.8 * 1.5 + 1.2 * 9.8 * 1.5) * \frac{0.3}{\text{b kolom}} = Q_3 = 19.5 \text{ kN/m}^1$$

Bovenstaande berekening is gemaakt voor het middelste portaal. De portalen ter plaatse van de gevels worden minder zwaar belast.

De breedte waarover de wind opgenomen wordt bedraagt hier 2.7 meter in plaats van 5.4 meter. In deze portalen zullen de krachten  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $F_1$  en  $F_2$  halveren. Deze situatie is apart ingevoerd in het raamwerkprogramma matrixframe, wat te zien is op de volgende pagina's.

Zijaanzicht:



BIJLAGE VI: Uitvoer matrixframe

|               |                          |               |               |
|---------------|--------------------------|---------------|---------------|
|               |                          |               |               |
| Projectnaam   | Staalconstructie Woning  | Projectnummer | 01            |
| Omschrijving  | Langs_gevel_gesloten     | Constructeur  | P.P. Schipper |
| Opdrachtgever | 1158104                  | Eenheden      | m, kN, kNm    |
| Bestand       | O:\matrixlg_gesloten.mxe |               |               |

Uitgangspunten van de berekening

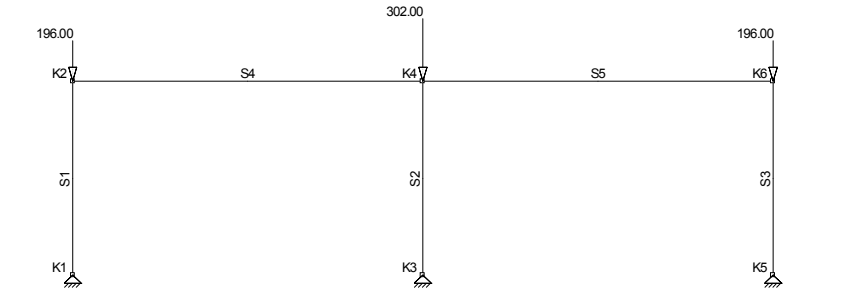
Geavanceerde Analyse  
GNL analyse (P-delta + N-kracht correctie)

Belastingsgevallen

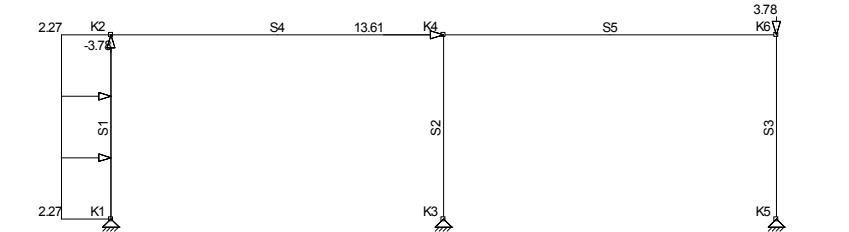
| Type                                  | Beginwaarde | Eindwaarde | Beginafstand | Eindafstand | Richting | Staal of knoop |
|---------------------------------------|-------------|------------|--------------|-------------|----------|----------------|
| <b>B.G.1: Verticaal (rekenwaarde)</b> |             |            |              |             |          |                |
| N                                     | 302,00      |            |              |             | Z        | K4             |
| N                                     | 196,00      |            |              |             | Z        | K2,K6          |
| <b>B.G.2: Wind</b>                    |             |            |              |             |          |                |
| q                                     | 2,27        | 2,27       | 0,000        | 3,000(L)    | Z        | S1             |
| N                                     | 13,61       |            |              |             | X        | K4             |
| N                                     | 3,78        |            |              |             | Z        | K6             |
| N                                     | -3,78       |            |              |             | Z        | K2             |
| -                                     | -           | -          | m            | m           | -        | -              |

Fundamenteel Belastingscombinaties

| B.G.  | Omschrijving            | F.C.1 |
|-------|-------------------------|-------|
| B.G.1 | Verticaal (rekenwaarde) | 1.00  |
| B.G.2 | Wind                    | 1.50  |



Afb. Lasten B.G.1 Verticaal (rekenwaarde)



Afb. Lasten B.G.2 Wind

F.C. Oplegreacties berekening

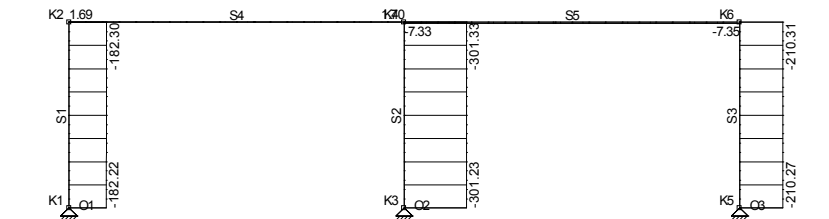
| B.C.  | Oplegging    | Knoop | X      | Z       | My   |
|-------|--------------|-------|--------|---------|------|
| F.C.1 | O1           | K1    | -11.92 | -182.34 | 0.00 |
|       | O2           | K3    | -11.39 | -301.36 | 0.00 |
|       | O3           | K5    | -7.32  | -210.34 | 0.00 |
|       | Som Reacties |       | -30.63 | -694.03 |      |
|       | Som Lasten   |       | 30.63  | 694.03  |      |
| -     | -            | -     | kN     | kN      | kNm  |

F.C. Extreme staafkrachten berekening

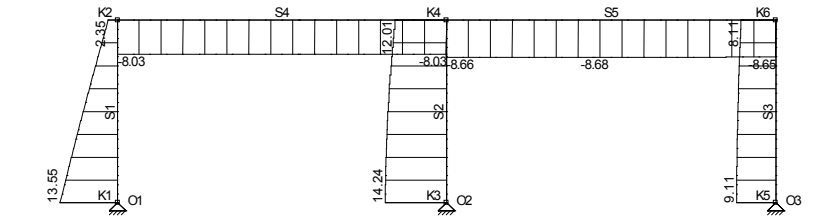
| Staal | B.C.  | Mb    | Mmax   | xMmax | Me     | x-M0  | x-M0 T/D | Nmax    | Vb    | Vmax  | Ve    |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|---------|-------|-------|-------|
| S1    | F.C.1 | 0.00  | 23.63  | 2.850 | 24.02  | 0.000 | 0.000    | -182.30 | 13.55 | 13.55 | 2.35  |
| S2    | F.C.1 | 0.00  | 38.26  | 2.850 | 40.06  | 0.000 | 0.000    | -301.33 | 14.24 | 14.24 | 12.01 |
| S3    | F.C.1 | 0.00  | 24.85  | 2.850 | 26.06  | 0.000 | 0.000    | -210.31 | 9.11  | 9.11  | 8.11  |
| S4    | F.C.1 | 24.02 | 21.85  | 0.270 | -19.31 | 2.993 | 0.000 T  | 1.72    | -8.03 | -8.03 | -8.03 |
| S5    | F.C.1 | 20.75 | -23.73 | 5.130 | -26.06 | 2.392 | 0.000    | -7.35   | -8.66 | -8.66 | -8.65 |
| -     | -     | kNm   | kNm    | m     | kNm    | m     | m -      | kN      | kN    | kN    | kN    |

F.C. Knoopkrachten berekening

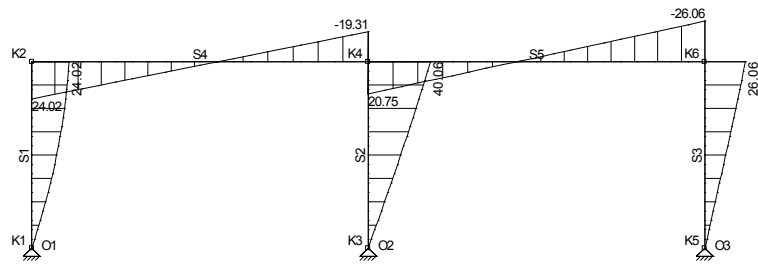
| Staal | B.C.  | Knoop | T/D | Nx      | Vz     | My     |
|-------|-------|-------|-----|---------|--------|--------|
| S1    | F.C.1 | B K1  | D   | 182.22  | -13.55 | 0.00   |
|       |       | E K2  | D   | -182.30 | 2.35   | 24.02  |
| S2    | F.C.1 | B K3  | D   | 301.23  | -14.24 | 0.00   |
|       |       | E K4  | D   | -301.33 | 12.01  | 40.06  |
| S3    | F.C.1 | B K5  | D   | 210.27  | -9.11  | 0.00   |
|       |       | E K6  | D   | -210.31 | 8.11   | 26.06  |
| S4    | F.C.1 | B K2  | D   | -1.69   | 8.03   | -24.02 |
|       |       | E K4  | D   | 1.70    | -8.03  | -19.31 |
| S5    | F.C.1 | B K4  | D   | 7.33    | 8.66   | -20.75 |
|       |       | E K6  | D   | -7.35   | -8.65  | -26.06 |
| -     | -     | -     | -   | kN      | kN     | kNm    |



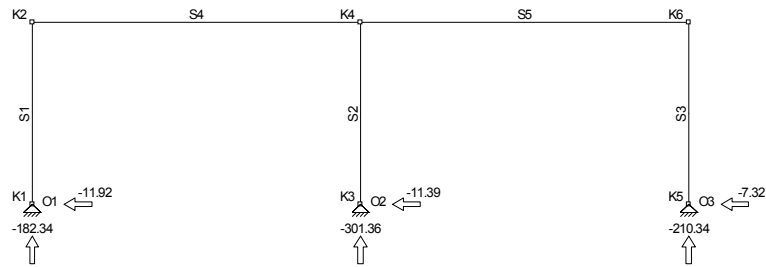
Afb. Normaalkracht (Nx) F.C. Omhullende



Afb. Dwarskracht (Vz) F.C. Omhullende



Afb. Momenten (My) F.C. Omhullende



Afb. Oplegreacties F.C.1

|               |                          |               |               |
|---------------|--------------------------|---------------|---------------|
| Projectnaam   | Staalconstructie Woning  | Projectnummer | 01            |
| Omschrijving  | Langs_gevel_geopend      | Constructeur  | P.P. Schipper |
| Opdrachtgever | 1158104                  | Eenheden      | m, kN, kNm    |
| Bestand       | O:\matrix\lg_geopend.mxe |               |               |

Uitgangspunten van de berekening

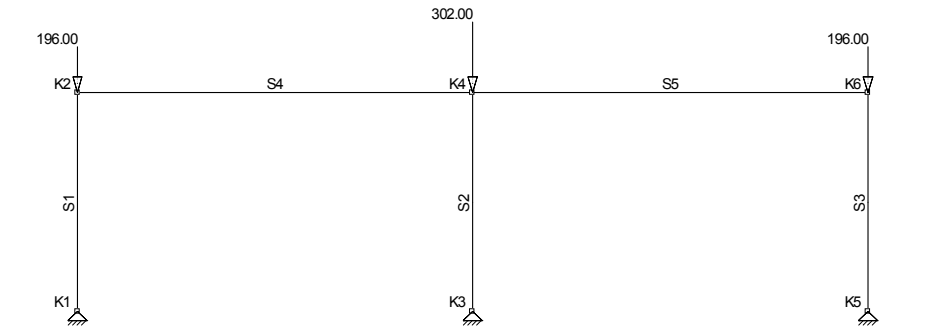
Geavanceerde Analyse  
GNL analyse (P-delta + N-kracht correctie)

Belastingsgevallen

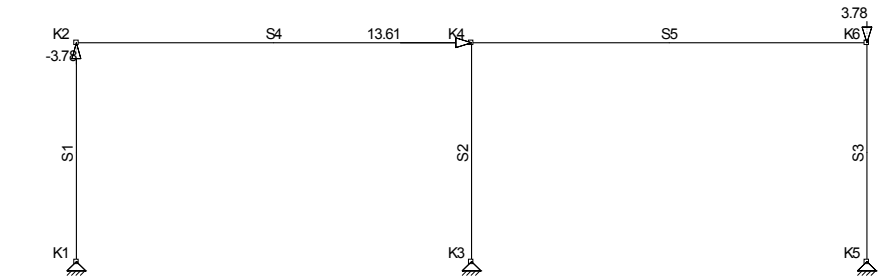
| Type                                  | Beginwaarde | Eindwaarde | Beginafstand | Eindafstand | Richting Staaf of knoop |
|---------------------------------------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------------------|
| <b>B.G.1: Verticaal (rekenwaarde)</b> |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 302,00      |            |              |             | Z K4                    |
| N                                     | 196,00      |            |              |             | Z K2,K6                 |
| <b>B.G.2: Wind</b>                    |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 13,61       |            |              |             | X K4                    |
| N                                     | 3,78        |            |              |             | Z K6                    |
| N                                     | -3,78       |            |              |             | Z K2                    |
| <b>B.G.3:</b>                         |             |            |              |             |                         |
| F                                     | 37,00       |            | 1,500        |             | Z' S1-S3                |
| q                                     | 19,50       | 19,50      | 0,000        | 1,500       | Z' S1-S3                |
| -                                     | -           | -          | m            | m           | - -                     |

Fundamenteel Belastingscombinaties

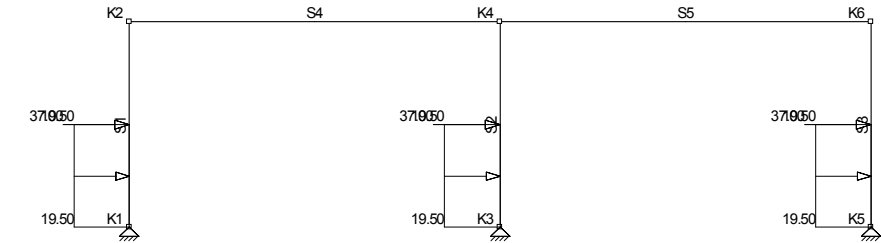
| B.G.  | Omschrijving            | F.C.1 |
|-------|-------------------------|-------|
| B.G.1 | Verticaal (rekenwaarde) | 1.00  |
| B.G.2 | Wind                    | 1.50  |
| B.G.3 |                         | 1.50  |



Afb. Lasten B.G.1 Verticaal (rekenwaarde)



Afb. Lasten B.G.2 Wind



Afb. Lasten B.G.3

F.C. Extreme staafkrachten berekening

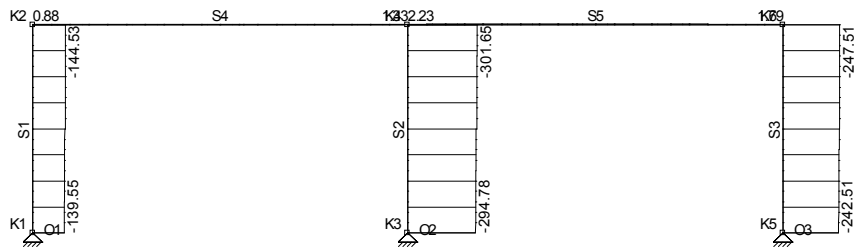
| Staaf | B.C.  | Mb     | Mmax    | xMmax | Me      | x-M0  | x-M0 T/D | Nmax    | Vb     | Vmax   | Ve     |
|-------|-------|--------|---------|-------|---------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
| S1    | F.C.1 | 0.00   | 138.13  | 2.850 | 138.81  | 0.000 | 0.000    | -144.53 | 109.28 | 109.28 | 4.63   |
| S2    | F.C.1 | 0.00   | 213.30  | 2.850 | 216.97  | 0.000 | 0.000    | -301.65 | 139.60 | 139.60 | 24.61  |
| S3    | F.C.1 | 0.00   | 138.36  | 2.850 | 138.69  | 0.000 | 0.000    | -247.51 | 111.06 | 111.06 | 2.48   |
| S4    | F.C.1 | 138.81 | 126.45  | 0.270 | -108.16 | 3.034 | 0.000 T  | 1.98    | -45.76 | -45.76 | -45.74 |
| S5    | F.C.1 | 108.81 | -126.31 | 5.130 | -138.69 | 2.374 | 0.000 T  | 2.89    | -45.85 | -45.87 | -45.87 |
| -     | -     | kNm    | kNm     | m     | kNm     | m     | m -      | kN      | kN     | kN     | kN     |

F.C. Oplegreacties berekening

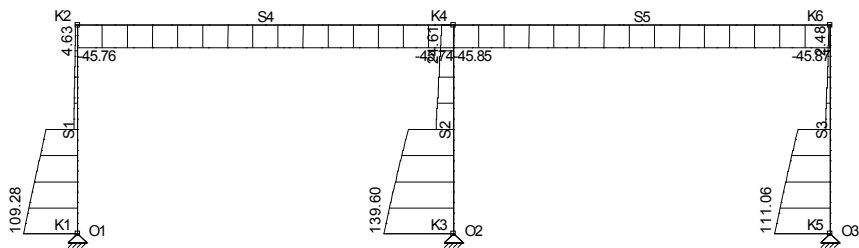
| B.C.  | Oplegging    | Knoop | X       | Z       | My   |
|-------|--------------|-------|---------|---------|------|
| F.C.1 | O1           | K1    | -101.01 | -145.64 | 0.00 |
|       | O2           | K3    | -120.67 | -303.02 | 0.00 |
|       | O3           | K5    | -96.80  | -248.55 | 0.00 |
|       | Som Reacties |       | -318.48 | -697.21 |      |
|       | Som Lasten   |       | 318.48  | 697.21  |      |
| -     | -            | -     | kN      | kN      | kNm  |

F.C. Knoopkrachten berekening

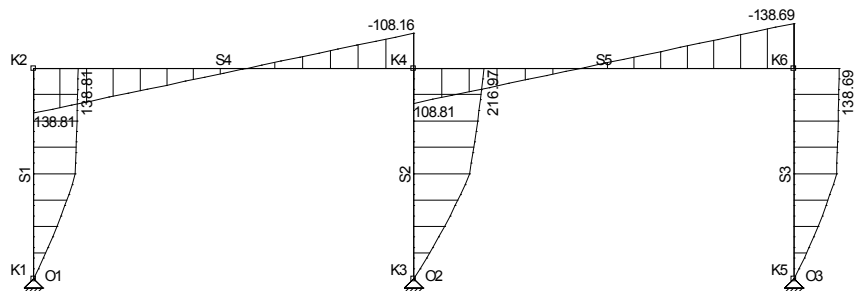
| Staaf | B.C.  | Knoop | T/D | Nx      | Vz      | My      |
|-------|-------|-------|-----|---------|---------|---------|
| S1    | F.C.1 | B K1  | D   | 139.55  | -109.28 | 0.00    |
|       |       | E K2  | D   | -144.53 | 4.63    | 138.81  |
| S2    | F.C.1 | B K3  | D   | 294.78  | -139.60 | 0.00    |
|       |       | E K4  | D   | -301.65 | 24.61   | 216.97  |
| S3    | F.C.1 | B K5  | D   | 242.51  | -111.06 | 0.00    |
|       |       | E K6  | D   | -247.51 | 2.48    | 138.69  |
| S4    | F.C.1 | B K2  |     | -0.88   | 45.76   | -138.81 |



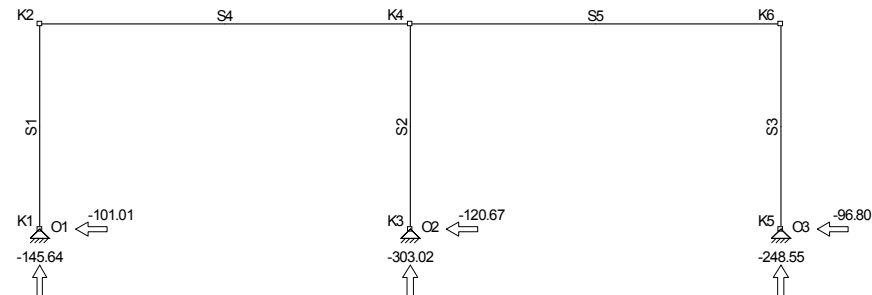
Afb. Normalkracht (Nx) F.C. Omhullende



Afb. Dwarskracht (Vz) F.C. Omhullende



Afb. Momenten (My) F.C. Omhullende



Afb. Oplegreacties F.C.1

|               |                                       |               |               |
|---------------|---------------------------------------|---------------|---------------|
| Projectnaam   | Staalconstructie Woning               | Projectnummer | 01            |
| Omschrijving  | Korte_gevel_Randportaal_Gesloten      | Constructeur  | P.P. Schipper |
| Opdrachtgever | 1158104                               | Eenheden      | m, kN, kNm    |
| Bestand       | O:\matrix\kg_gesloten_randportaal.mxe |               |               |

**Uitgangspunten van de berekening**

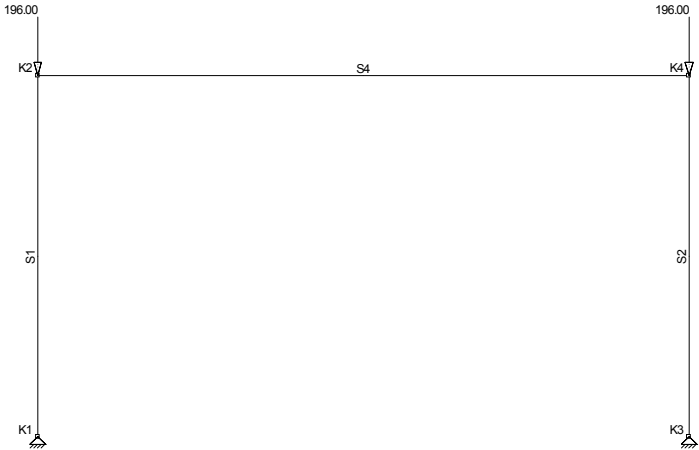
Geavanceerde Analyse  
GNL analyse (P-delta + N-kracht correctie)

**Belastingsgevallen**

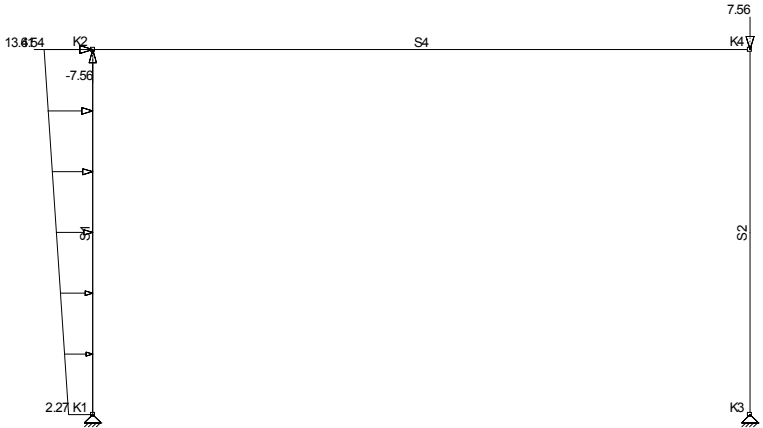
| Type                                  | Beginwaarde | Eindwaarde | Beginafstand | Eindafstand | Richting Staaf of knoop |
|---------------------------------------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------------------|
| <b>B.G.1: Verticaal (rekenwaarde)</b> |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 196,00      |            |              |             | Z K2,K4                 |
| <b>B.G.2: Wind</b>                    |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 13,61       |            |              |             | X K2                    |
| q                                     | 2,27        | 4,54       | 0,000        | 3,000(L)    | X S1                    |
| N                                     | 7,56        |            |              |             | Z K4                    |
| N                                     | -7,56       |            |              |             | Z K2                    |
| -                                     | -           | -          | m            | m           | - -                     |

**Fundamenteel Belastingscombinaties**

| B.G.  | Omschrijving            | F.C.1 |
|-------|-------------------------|-------|
| B.G.1 | Verticaal (rekenwaarde) | 1.00  |
| B.G.2 | Wind                    | 1.50  |



Afb. Lasten B.G.1 Verticaal (rekenwaarde)



Afb. Lasten B.G.2 Wind

**F.C. Oplegreacties berekening**

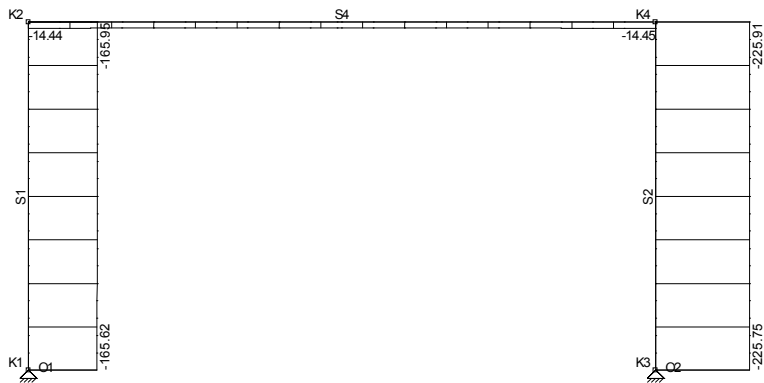
| B.C.  | Oplegging    | Knoop | X      | Z       | My   |
|-------|--------------|-------|--------|---------|------|
| F.C.1 | O1           | K1    | -21.38 | -165.99 | 0.00 |
|       | O2           | K3    | -14.36 | -226.01 | 0.00 |
|       | Som Reacties |       | -35.74 | -392.00 |      |
| -     | Som Lasten   |       | 35.74  | 392.00  |      |
|       |              |       | kN     | kN      | kNm  |

**F.C. Extreme staafkrachten berekening**

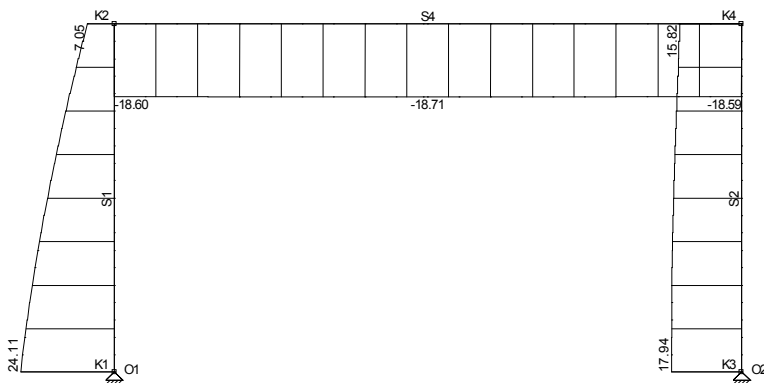
| Staaf | B.C.  | Mb    | Mmax   | xMmax | Me     | x-M0  | x-M0 T/D | Nmax    | Vb     | Vmax   | Ve     |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
| S1    | F.C.1 | 0.00  | 48.53  | 2.850 | 49.66  | 0.000 | 0.000    | -165.95 | 24.11  | 24.11  | 7.05   |
| S2    | F.C.1 | 0.00  | 48.79  | 2.850 | 51.15  | 0.000 | 0.000    | -225.91 | 17.94  | 17.94  | 15.82  |
| S4    | F.C.1 | 49.66 | -46.13 | 5.130 | -51.15 | 2.660 | 0.000    | -14.45  | -18.60 | -18.71 | -18.59 |
| -     | -     | kNm   | kNm    | m     | kNm    | m     | m -      | kN      | kN     | kN     | kN     |

**F.C. Knoopkrachten berekening**

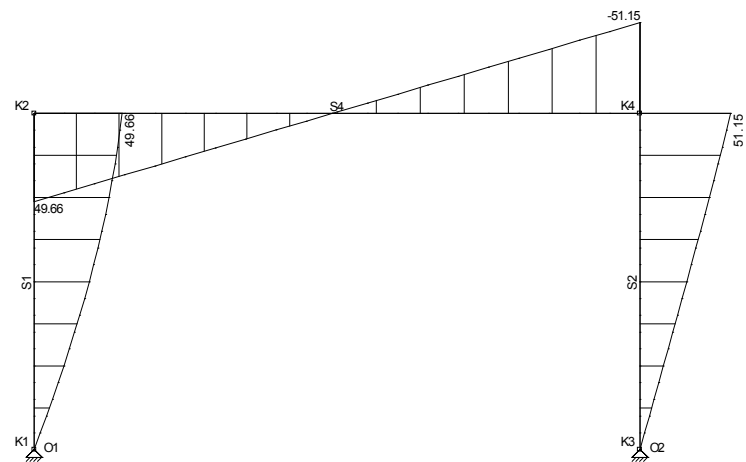
| Staaf | B.C.  | Knoop | T/D | Nx      | Vz     | My     |
|-------|-------|-------|-----|---------|--------|--------|
| S1    | F.C.1 | B K1  | D   | 165.62  | -24.11 | 0.00   |
|       |       | E K2  | D   | -165.95 | 7.05   | 49.66  |
| S2    | F.C.1 | B K3  | D   | 225.75  | -17.94 | 0.00   |
|       |       | E K4  | D   | -225.91 | 15.82  | 51.15  |
| S4    | F.C.1 | B K2  | D   | 14.44   | 18.60  | -49.66 |
|       |       | E K4  | D   | -14.45  | -18.59 | -51.15 |
| -     | -     | -     | -   | kN      | kN     | kNm    |



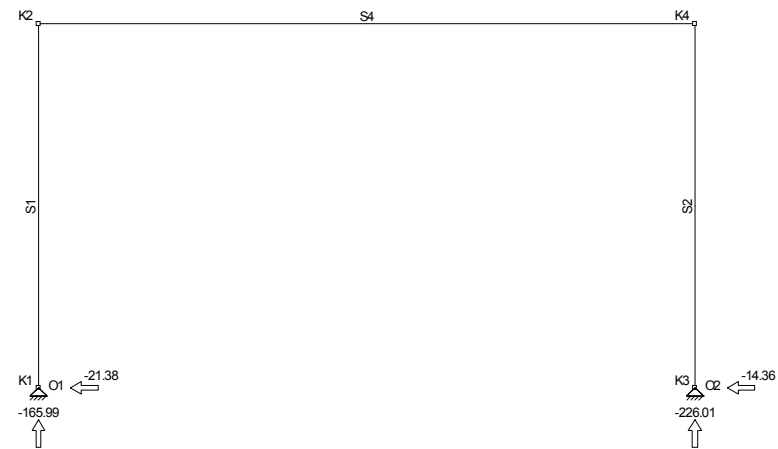
Afb. Normalkracht (Nx) F.C. Omhullende



Afb. Dwarskracht (Vz) F.C. Omhullende



Afb. Momenten (My) F.C. Omhullende



Afb. Oplegreacties F.C.1

|               |                                      |               |               |
|---------------|--------------------------------------|---------------|---------------|
| Projectnaam   | Staalconstructie Woning              | Projectnummer | 01            |
| Omschrijving  | Korte_gevel_Randportaal_Geopend      | Constructeur  | P.P. Schipper |
| Opdrachtgever | 1158104                              | Eenheden      | m, kN, kNm    |
| Bestand       | O:\matrix\kg_geopend_randportaal.mxe |               |               |

Uitgangspunten van de berekening

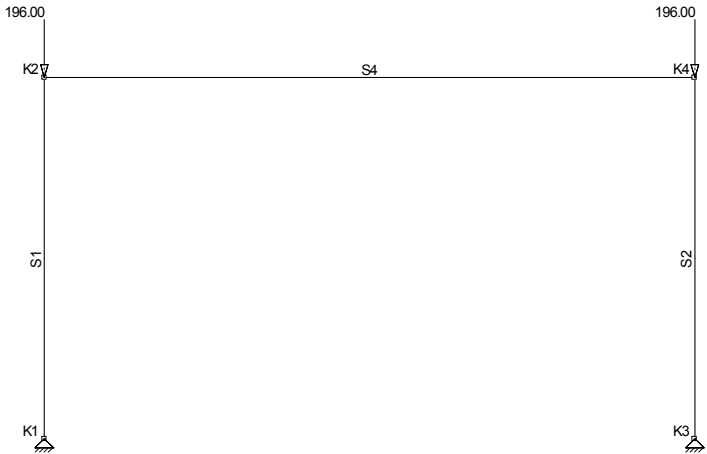
Geavanceerde Analyse  
GNL analyse (P-delta + N-kracht correctie)

Belastingsgevallen

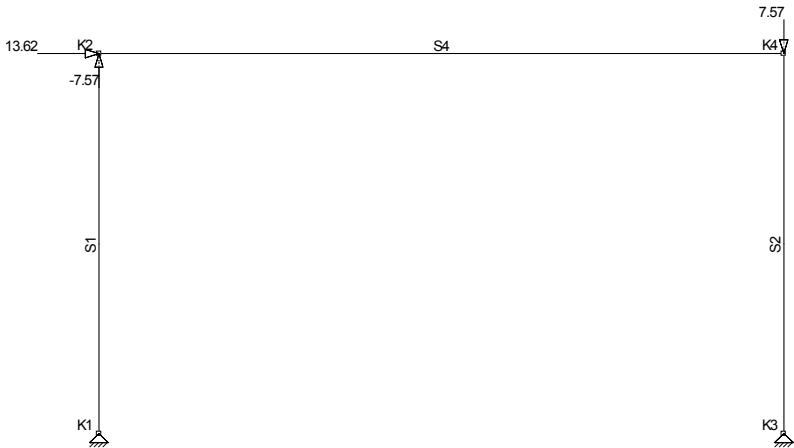
| Type                                  | Beginwaarde | Eindwaarde | Beginafstand | Eindafstand | Richting Staaf of knoop |
|---------------------------------------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------------------|
| <b>B.G.1: Verticaal (rekenwaarde)</b> |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 196,00      |            |              |             | Z K2,K4                 |
| <b>B.G.2: Wind</b>                    |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 13,62       |            |              |             | X K2                    |
| N                                     | 7,57        |            |              |             | Z K4                    |
| N                                     | -7,57       |            |              |             | Z K2                    |
| <b>B.G.3: Water</b>                   |             |            |              |             |                         |
| F                                     | 37,00       |            | 1,500        |             | X S1-S2                 |
| q                                     | 19,50       | 19,50      | 0,000        | 1,500       | Z' S1-S2                |
| -                                     | -           | -          | m            | m           | - -                     |

Fundamenteel Belastingscombinaties

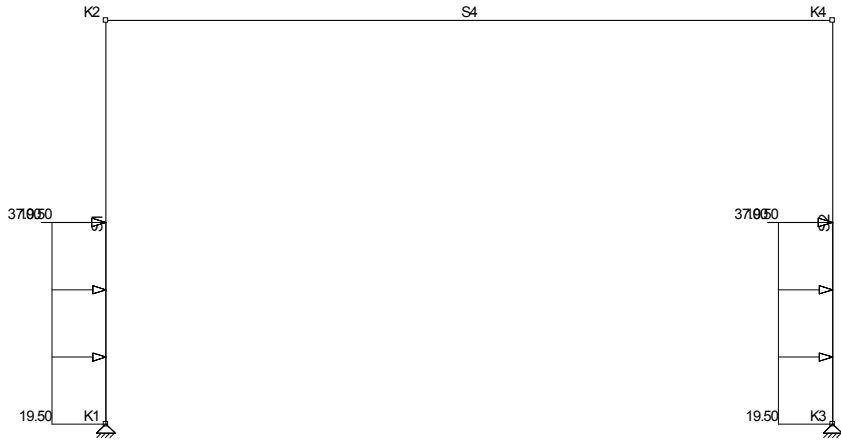
| B.G.  | Omschrijving            | F.C.1 |
|-------|-------------------------|-------|
| B.G.1 | Verticaal (rekenwaarde) | 1.00  |
| B.G.2 | Wind                    | 1.50  |
| B.G.3 | Water                   | 1.50  |



Afb. Lasten B.G.1 Verticaal (rekenwaarde)



Afb. Lasten B.G.2 Wind



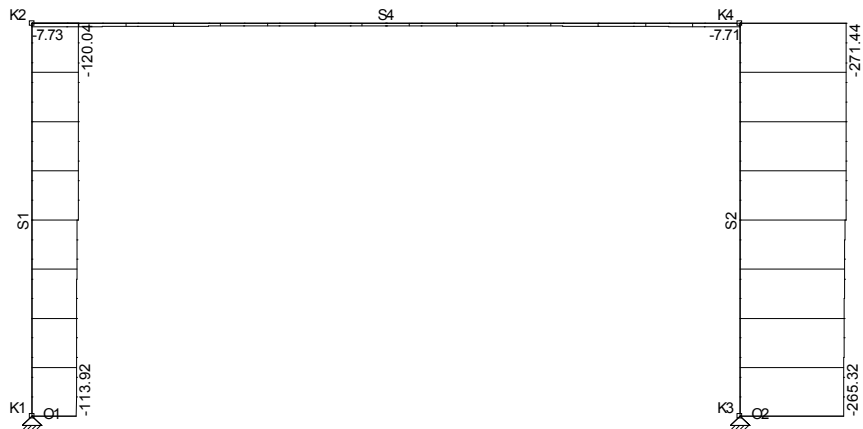
Afb. Lasten B.G.3 Water

F.C. Extreme staafkrachten berekening

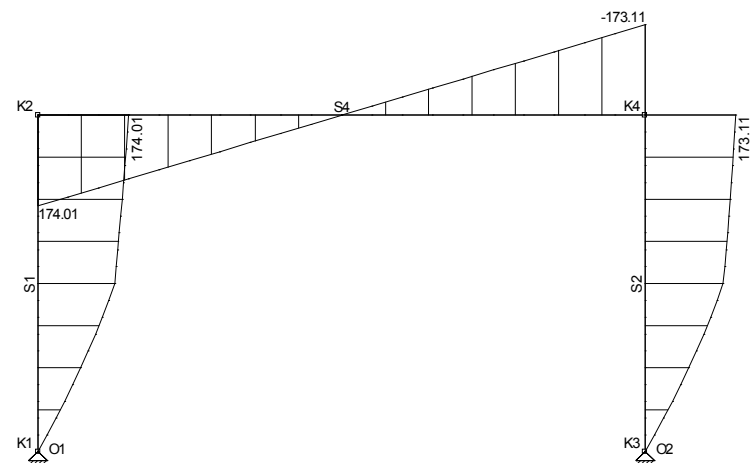
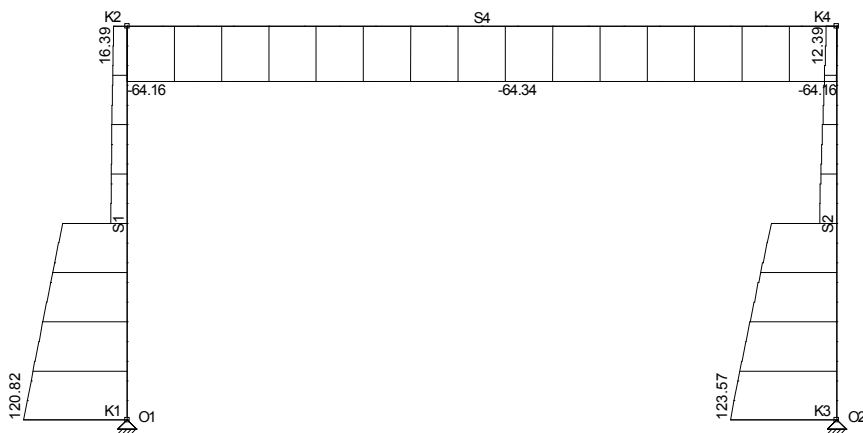
| Staaf | B.C.  | Mb     | Mmax   | xMmax | Me      | x-M0  | x-M0 T/D | Nmax    | Vb     | Vmax   | Ve     |
|-------|-------|--------|--------|-------|---------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
| S1    | F.C.1 | 0.00   | 171.58 | 2.850 | 174.01  | 0.000 | 0.000    | -120.04 | 120.82 | 120.82 | 16.39  |
| S2    | F.C.1 | 0.00   | 171.29 | 2.850 | 173.11  | 0.000 | 0.000    | -271.44 | 123.57 | 123.57 | 12.39  |
| S4    | F.C.1 | 174.01 | 156.69 | 0.270 | -173.11 | 2.707 | 0.000    | -7.73   | -64.16 | -64.34 | -64.16 |
| -     | -     | kNm    | kNm    | m     | kNm     | m     | m -      | kN      | kN     | kN     | kN     |

# F.C. Knoopkrachten berekening

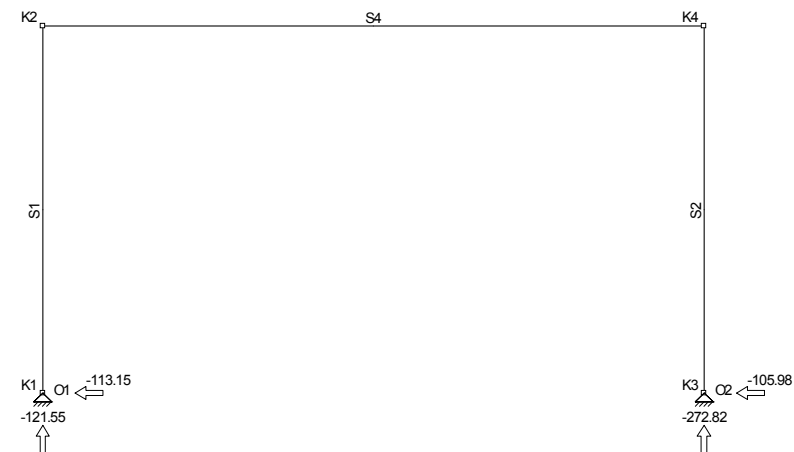
| Staal | B.C.  | Knoop | T/D | Nx      | Vz      | My      |
|-------|-------|-------|-----|---------|---------|---------|
| S1    | F.C.1 | B K1  | D   | 113.92  | -120.82 | 0.00    |
|       |       | E K2  | D   | -120.04 | 16.39   | 174.01  |
| S2    | F.C.1 | B K3  | D   | 265.32  | -123.57 | 0.00    |
|       |       | E K4  | D   | -271.44 | 12.39   | 173.11  |
| S4    | F.C.1 | B K2  | D   | 7.73    | 64.16   | -174.01 |
|       |       | E K4  | D   | -7.71   | -64.16  | -173.11 |
| -     | -     | -     | -   | kN      | kN      | kNm     |



Afb. Normalkracht (Nx) F.C. Omhullende



Afb. Momenten (My) F.C. Omhullende



# F.C. Oplegreacties berekening

| B.C.  | Oplegging    | Knoop | X       | Z       | My   |
|-------|--------------|-------|---------|---------|------|
| F.C.1 | O1           | K1    | -113.15 | -121.55 | 0.00 |
|       | O2           | K3    | -105.98 | -272.82 | 0.00 |
|       | Som Reacties |       | -219.13 | -394.37 |      |
| -     | -            | -     | 219.13  | 394.37  |      |
|       |              |       | kN      | kN      | kNm  |

|               |                                         |               |               |
|---------------|-----------------------------------------|---------------|---------------|
| Projectnaam   | Staalconstructie Woning                 | Projectnummer | 01            |
| Omschrijving  | Korte gevel Gesloten                    | Constructeur  | P.P. Schipper |
| Opdrachtgever | 1158104                                 | Eenheden      | m, kN, kNm    |
| Bestand       | O:\matrix\kg_gesloten_middenportaal.mxe |               |               |

Uitgangspunten van de berekening

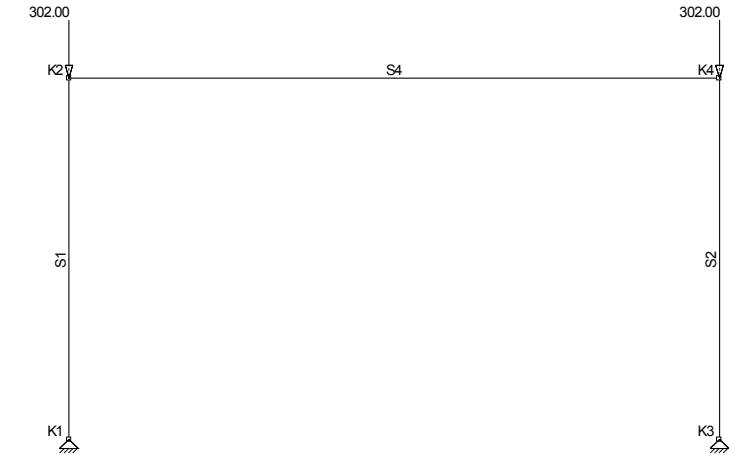
Geavanceerde Analyse  
GNL analyse (P-delta + N-kracht correctie)

Belastingsgevallen

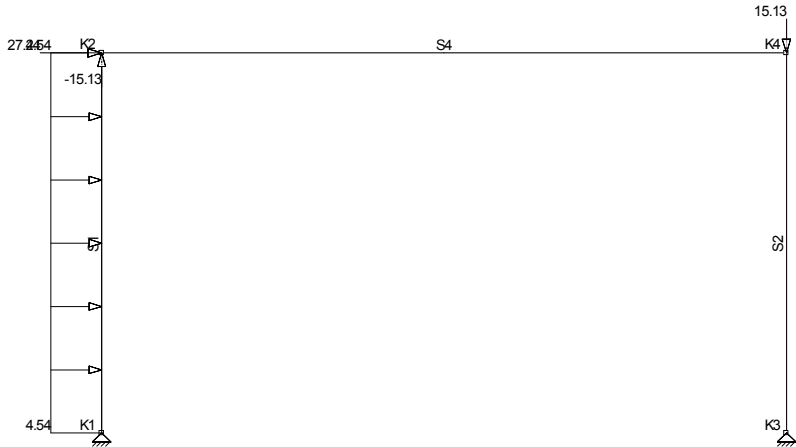
| Type                                  | Beginwaarde | Eindwaarde | Beginafstand | Eindafstand | Richting Staaf of knoop |
|---------------------------------------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------------------|
| <b>B.G.1: Verticaal (rekenwaarde)</b> |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 302,00      |            |              |             | Z K2,K4                 |
| <b>B.G.2: Wind</b>                    |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 27,24       |            |              |             | X K2                    |
| q                                     | 4,54        | 4,54       | 0,000        | 3,000(L)    | X S1                    |
| N                                     | 15,13       |            |              |             | Z K4                    |
| N                                     | -15,13      |            |              |             | Z K2                    |
| -                                     | -           | -          | m            | m           | - -                     |

Fundamenteel Belastingscombinaties

| B.G.  | Omschrijving            | F.C.1 |
|-------|-------------------------|-------|
| B.G.1 | Verticaal (rekenwaarde) | 1.00  |
| B.G.2 | Wind                    | 1.50  |



Afb. Lasten B.G.1 Verticaal (rekenwaarde)



Afb. Lasten B.G.2 Wind

F.C. Extreme staafkrachten berekening

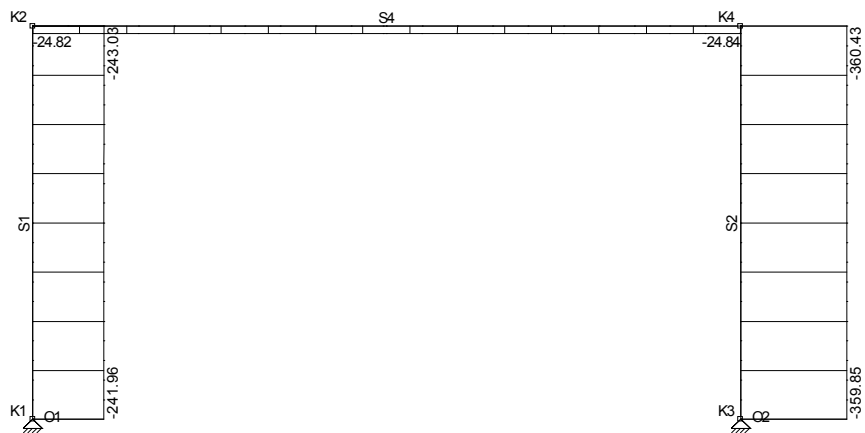
| Staaf | B.C.  | Mb    | Mmax   | xMmax | Me     | x-M0  | x-M0 T/D | Nmax    | Vb     | Vmax   | Ve     |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
| S1    | F.C.1 | 0.00  | 93.57  | 2.850 | 96.50  | 0.000 | 0.000    | -243.03 | 44.41  | 44.41  | 19.21  |
| S2    | F.C.1 | 0.00  | 93.95  | 2.850 | 98.26  | 0.000 | 0.000    | -360.43 | 35.50  | 35.50  | 28.93  |
| S4    | F.C.1 | 96.50 | -88.58 | 5.130 | -98.26 | 2.676 | 0.000    | -24.84  | -35.84 | -36.20 | -35.83 |
| -     | -     | kNm   | kNm    | m     | kNm    | m     | m -      | kN      | kN     | kN     | kN     |

F.C. Oplegreacties berekening

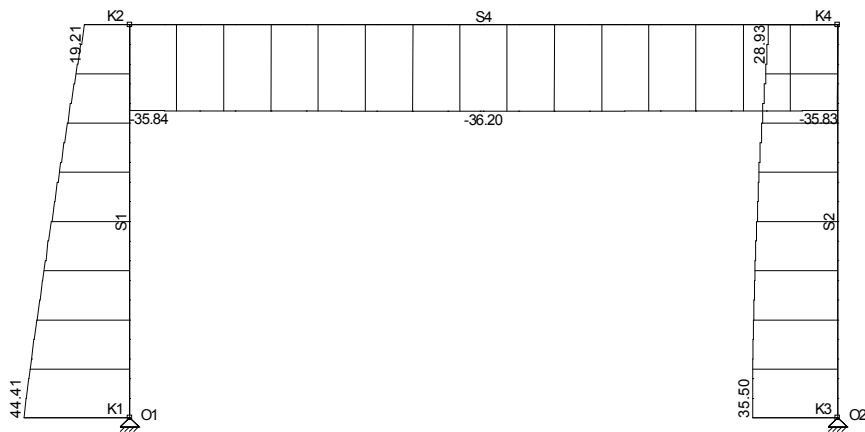
| B.C.  | Oplegging    | Knoop | X      | Z       | My   |
|-------|--------------|-------|--------|---------|------|
| F.C.1 | O1           | K1    | -36.80 | -243.24 | 0.00 |
|       | O2           | K3    | -24.49 | -360.76 | 0.00 |
|       | Som Reacties |       | -61.29 | -604.00 |      |
|       | Som Lasten   |       | 61.29  | 604.00  |      |
| -     | -            | -     | kN     | kN      | kNm  |

F.C. Knoopkrachten berekening

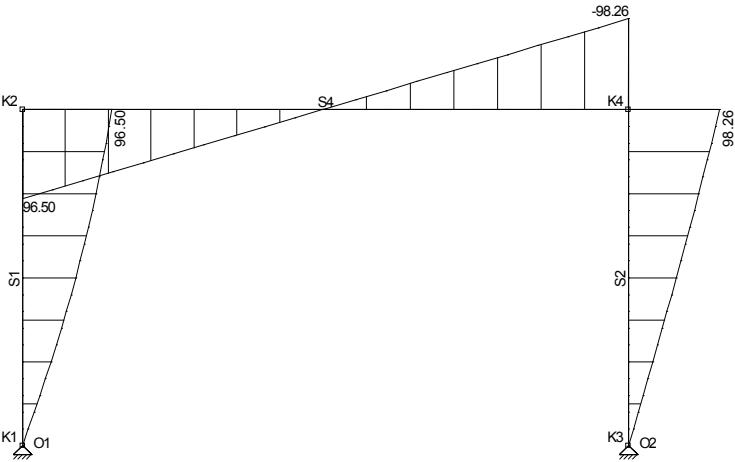
| Staaf | B.C.  | Knoop | T/D | Nx      | Vz     | My     |
|-------|-------|-------|-----|---------|--------|--------|
| S1    | F.C.1 | B K1  | D   | 241.96  | -44.41 | 0.00   |
|       |       | E K2  | D   | -243.03 | 19.21  | 96.50  |
| S2    | F.C.1 | B K3  | D   | 359.85  | -35.50 | 0.00   |
|       |       | E K4  | D   | -360.43 | 28.93  | 98.26  |
| S4    | F.C.1 | B K2  | D   | 24.82   | 35.84  | -96.50 |
|       |       | E K4  | D   | -24.84  | -35.83 | -98.26 |
| -     | -     | -     | -   | kN      | kN     | kNm    |



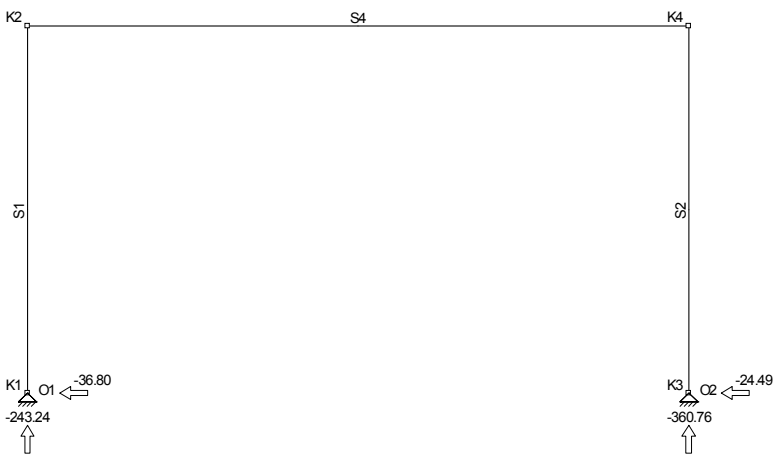
Afb. Normalkracht (Nx) F.C. Omhullende



Afb. Dwarskracht (Vz) F.C. Omhullende



Afb. Momenten (My) F.C. Omhullende



Afb. Oplegreacties F.C. 1

|               |                                                    |               |               |
|---------------|----------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Projectnaam   | Staalconstructie Woning                            | Projectnummer | 01            |
| Omschrijving  | Korte_gevel_middenportaal_Geopend                  | Constructeur  | P.P. Schipper |
| Opdrachtgever | 1158104                                            | Eenheden      | m, kN, kNm    |
| Bestand       | O:\matrix\kg_geopend_middenportaal_tussenknoop.mxe |               |               |

### Uitgangspunten van de berekening

Geavanceerde Analyse

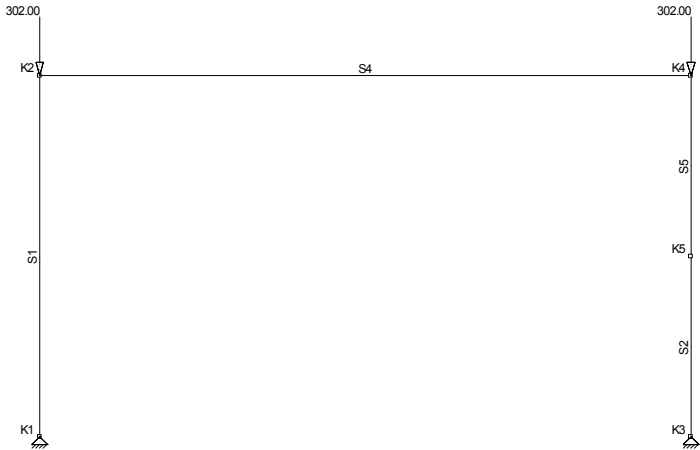
GNL analyse (P-delta + N-kracht correctie)

### Belastingsgevallen

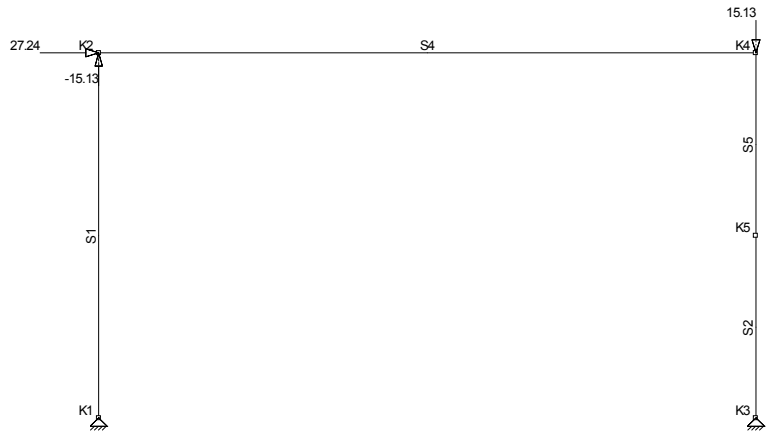
| Type                                  | Beginwaarde | Eindwaarde | Beginafstand | Eindafstand | Richting Staaf of knoop |
|---------------------------------------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------------------|
| <b>B.G.1: Verticaal (rekenwaarde)</b> |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 302,00      |            |              |             | Z K2,K4                 |
| <b>B.G.2: Wind</b>                    |             |            |              |             |                         |
| N                                     | 27,24       |            |              |             | X K2                    |
| N                                     | 15,13       |            |              |             | Z K4                    |
| N                                     | -15,13      |            |              |             | Z K2                    |
| <b>B.G.3: Waterstroming</b>           |             |            |              |             |                         |
| F                                     | 37,00       |            | 1,500        |             | Z' S1-S2                |
| q                                     | 19,50       | 19,50      | 0,000        | 1,500       | Z' S1-S2                |
| -                                     | -           | -          | m            | m           | - -                     |

### Fundamenteel Belastingscombinaties

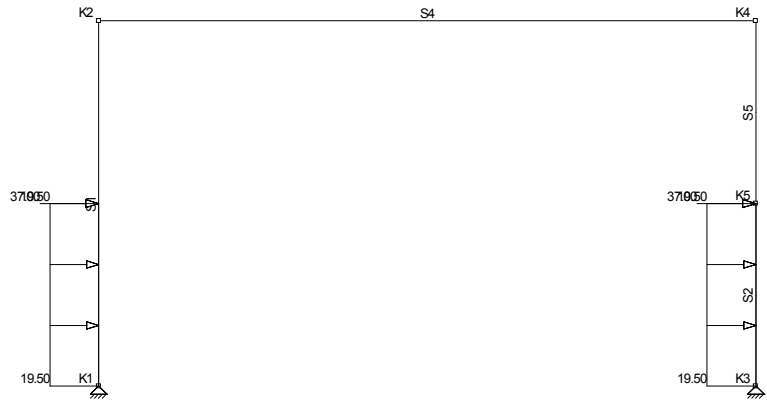
| B.G.  | Omschrijving            | F.C.1 |
|-------|-------------------------|-------|
| B.G.1 | Verticaal (rekenwaarde) | 1.00  |
| B.G.2 | Wind                    | 1.50  |
| B.G.3 | Waterstroming           | 1.50  |



Afb. Lasten B.G.1 Verticaal (rekenwaarde)



Afb. Lasten B.G.2 Wind



Afb. Lasten B.G.3 Waterstroming

### F.C. Oplegreacties berekening

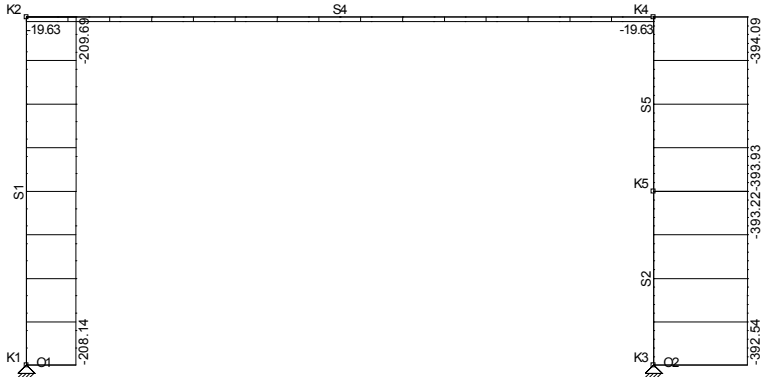
| B.C.  | Oplegging    | Knoop | X       | Z       | My   |
|-------|--------------|-------|---------|---------|------|
| F.C.1 | O1           | K1    | -120.90 | -210.11 | 0.00 |
|       | O2           | K3    | -118.70 | -394.50 | 0.00 |
|       | Som Reacties |       | -239.61 | -604.61 |      |
| -     | Som Lasten   | -     | 239.61  | 604.61  |      |
|       |              |       | kN      | kN      | kNm  |

### F.C. Extreme staafkrachten berekening

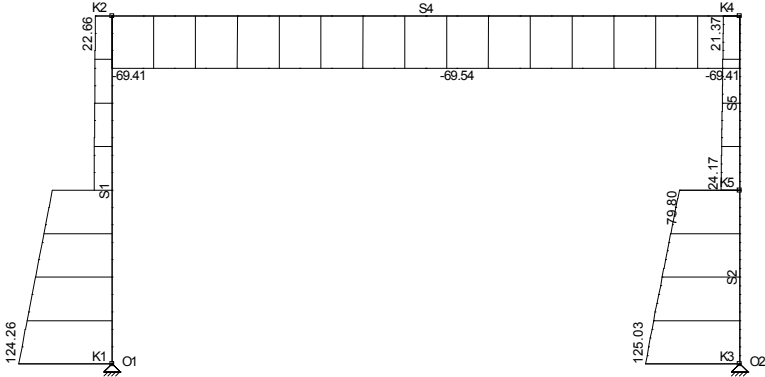
| Staaf | B.C.  | Mb     | Mmax   | xMmax | Me      | x-M0  | x-M0 T/D | Nmax    | Vb     | Vmax   | Ve     |
|-------|-------|--------|--------|-------|---------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
| S1    | F.C.1 | 0.00   | 184.44 | 2.850 | 187.84  | 0.000 | 0.000    | -209.69 | 124.26 | 124.26 | 22.66  |
| S2    | F.C.1 | 0.00   | 147.44 | 1.425 | 153.49  | 0.000 | 0.000    | -393.22 | 125.03 | 125.03 | 79.80  |
| S4    | F.C.1 | 187.84 | 169.09 | 0.270 | -187.45 | 2.702 | 0.000    | -19.63  | -69.41 | -69.54 | -69.41 |
| S5    | F.C.1 | 153.49 | 185.85 | 1.425 | 187.45  | 0.000 | 0.000    | -394.09 | 24.17  | 24.17  | 21.37  |
| -     | -     | kNm    | kNm    | m     | kNm     | m     | m -      | kN      | kN     | kN     | kN     |

F.C. Knoopkrachten berekening

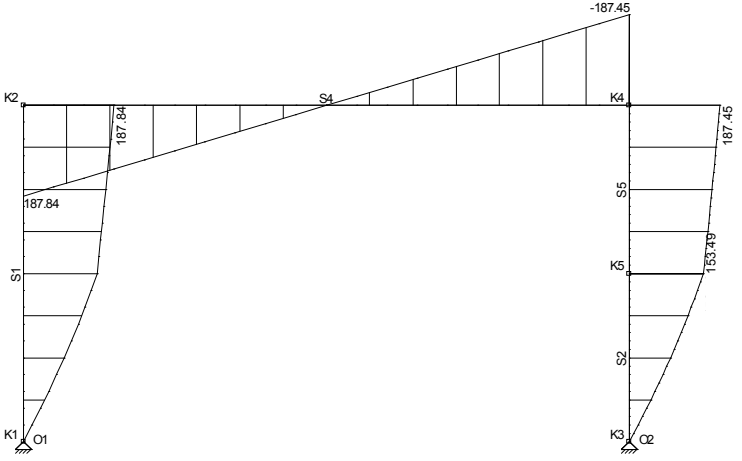
| Staat | B.C.  | Knoop | T/D | Nx      | Vz      | My      |
|-------|-------|-------|-----|---------|---------|---------|
| S1    | F.C.1 | B K1  | D   | 208.14  | -124.26 | 0.00    |
|       |       | E K2  | D   | -209.69 | 22.66   | 187.84  |
| S2    | F.C.1 | B K3  | D   | 392.54  | -125.03 | 0.00    |
|       |       | E K5  | D   | -393.22 | 79.80   | 153.49  |
| S4    | F.C.1 | B K2  | D   | 19.63   | 69.41   | -187.84 |
|       |       | E K4  | D   | -19.63  | -69.41  | -187.45 |
| S5    | F.C.1 | B K5  | D   | 393.93  | -24.17  | -153.49 |
|       |       | E K4  | D   | -394.09 | 21.37   | 187.45  |
| -     | -     | -     | -   | kN      | kN      | kNm     |



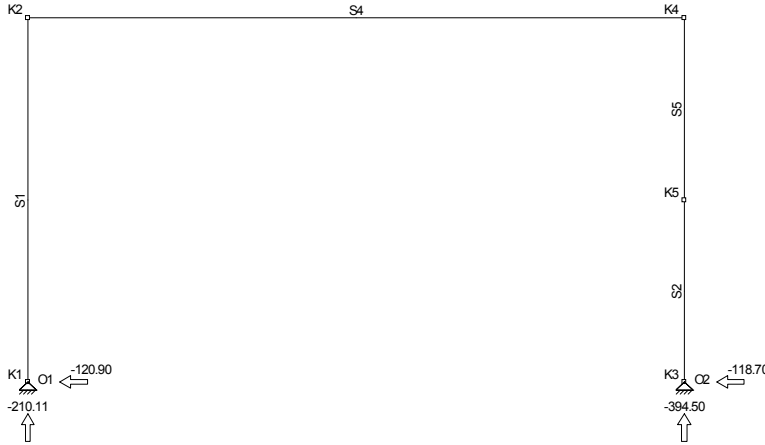
Afb. Normalkracht (Nx) F.C. Omhullende



Afb. Dwarskracht (Vz) F.C. Omhullende



Afb. Momenten (My) F.C. Omhullende



Afb. Oplegreacties F.C.1

## BIJLAGE VII: Dimensionering kolom

### Staalspanning

De maximale staalspanning van een op buiging en druk belaste kolom kan berekend worden met de formule:

$$\sigma = \frac{N_d}{A} + \frac{M_{s;d}}{W_{el}}$$

$N_d = 394 \text{ kN}$  (zie linker pagina)

$M_d = 187 \text{ kNm}$  (zie linker pagina)

Het lichtste vierkante kokerprofiel dat de vloeigrens van FE 360-staal ( $F_{y;rep} = 235 \text{ N/mm}^2$ ) niet overschrijdt is een vierkante koker van 300x300x10 mm.

| b<br>[mm] | h<br>[mm] | t<br>[mm] | G<br>[kg/m] | A<br>[mm <sup>2</sup> ] | $I_y = I_z$<br>[mm <sup>4</sup> ] $\times 10^4$ | $W_{el}$<br>[mm <sup>3</sup> ] $\times 10^3$ | $W_{pl}$<br>[mm <sup>3</sup> ] $\times 10^3$ | $I_t$<br>[mm <sup>4</sup> ] $\times 10^4$ | $i_y = i_z$<br>[m] |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| 300       | 300       | 10        | 90          | 11490                   | 16025                                           | 1068                                         | 1246                                         | 25087                                     | 118                |

$$\sigma = \frac{394.000}{11490} + \frac{187.000.000}{1.246.000} = 184,4 \text{ N/mm}^2$$

### Afschuiving

$$\frac{V_{s;d}}{V_{u;d}} \leq 1,0$$

$V_{s;d} = 125 \text{ kN}$  (zie linker pagina)

$V_{u;d} = 0,58 \cdot f_{y;d} \cdot A = 0,58 \cdot 235 \cdot 11490 = 1566 \text{ kN}$

$$\frac{125}{1566} = 0,08 \rightarrow \text{Voldoet}$$

### Stabiliteit

De stabiliteit van de kolom wordt getoetst met:

$$1.1 \frac{N_{c;s;d}}{\omega_{y;buc} \cdot N_{pl;d}} + 1.1 \frac{M_{y;eq;u;s;d}}{\omega_{kip} \cdot M_{y;u;d}} \leq 1.0$$

$$N_{c;s;d} = 394.4 \text{ kN}$$

$$N_{pl;d} = 2700.0 \text{ kN}$$

$$M_{y;eq;u;s;d} = 172.2 \text{ kNm}$$

$$M_{y;u;d} = 292.8 \text{ kNm}$$

$$\omega_{kip} = 1.0$$

$$\omega_{y;buc} = 1.0$$

$$A \cdot f_{y;d} = 11490 \cdot 235$$

$$|0.1(M_b - M_a) + M_{mid}| = 0.1 \cdot (187.45 - 0) + 153.49$$

$$f_{y;d} \cdot W_{pl} = 235 \cdot 1246 \cdot 10^3$$

(buisprofiel)

$$\lambda = L_{buc}/i = (3000/\sqrt{2})/118 = 18 \rightarrow \text{Instabiliteitskromme a, S235}$$

$$L_{buc} = L_{sys}/\sqrt{2} \text{ (vanwege belemmerde rotatie uiteinden staaf door portaalliggers en vloerplaten)}$$

$$1.1 \frac{394.4}{1 \cdot 2700} + 1.1 \frac{172.2}{1 \cdot 292.8} = 0.81 \rightarrow \text{Voldoet}$$

### Doorbuiging

Naast de staalspanning moet ook de vervorming van de kolom getoetst worden. De rails van het openingsmechanisme van de gevel is direct aan de kolommen bevestigd. De maximale verplaatsing per bouwlaag wordt gesteld op 1/300<sup>ste</sup> deel van de hoogte. ( $U_{max} = 10\text{mm}$ )

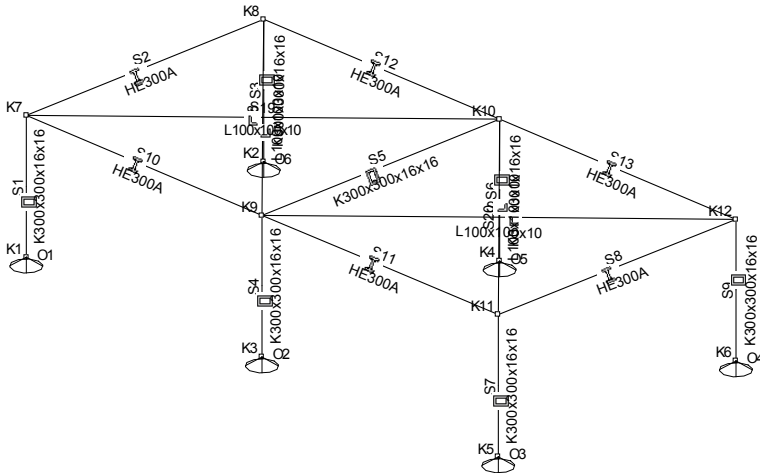
De verplaatsingen in het middenportaal zijn afhankelijk van de stijfheden in de overige constructie-elementen. Dit is te schematiseren door een horizontale veer aan te brengen ter plaatse van knooppunt K2. Door herverdeling zullen de krachten zich verplaatsen naar de meest stijve elementen in de constructie. Om de effecten hiervan mee te nemen in de berekening van de verplaatsingen is de driedimensionale constructie ingevoerd in het raamwerkprogramma matrixframe. Om de herverdeling mogelijk te maken zijn kruisverbanden geplaatst in de horizontale vlakken. In werkelijk zullen de krachten overgebracht worden door de plaatvloer. De verplaatsingen aan de top van de kolommen zijn hierdoor allen nagenoeg gelijk. De invoer en uitvoer van het raamwerkprogramma is opgenomen op de pagina hiernaast.

De optredende verplaatsingen waren in eerste instantie 15 mm, dus anderhalf maal te groot. Om de constructie stijver te maken zijn de portalen zwaarder uitgevoerd. Een berekening waarin de wanddikte van de kolommen wordt verhoogd van 10 naar 16 mm toont maximale verplaatsingen van 10,8 mm, wat acceptabel is. Hiermee voldoet de staalconstructie aan alle toetsingscriteria.

|               |                              |               |               |
|---------------|------------------------------|---------------|---------------|
| Projectnaam   | Staalconstructie Woning      | Projectnummer | 01            |
| Omschrijving  | 3D berekening verplaatsingen | Constructeur  | P.P. Schipper |
| Opdrachtgever | 1158104                      | Eenheden      | m, kN, kNm    |
| Bestand       | O:\matrix\3d.mxe             |               |               |

### Uitgangspunten van de berekening

Geavanceerde Analyse  
GNL analyse (P-delta + N-kracht correctie)



Afb. Geometrie 1

### Profielen

| Profiel | Profielnaam    | Oppervlakte | It         | Iy         | Iz         | Materiaal | Hoek |
|---------|----------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|------|
| P1      | K300x300x16x16 | 1.8176e-02  | 3.6650e-04 | 2.4511e-04 | 2.4511e-04 | S235      | 0    |
| P2      | L100x100x10    | 1.9200e-03  | 6.1200e-08 | 1.7670e-06 | 1.7670e-06 | S235      | 0    |
| P3      | HE300A         | 1.1253e-02  | 8.5173e-07 | 1.8263e-04 | 6.3096e-05 | S235      | 0    |
| -       | -              | m2          | m4         | m4         | m4         | -         | °    |

### Profielvormen

| Profiel | Verlopende hoogte | hB    | hE    | tf    | tw    | tf2   | B     | bL    | bR    | Raaltliggers | Hoogte |
|---------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------|
| P1      | Nee               | 0.300 | 0.300 | 0.016 | 0.016 | 0.000 | 0.300 | 0.000 | 0.000 | Nee          | 0.000  |
| -       | -                 | m     | m     | m     | m     | m     | m     | m     | m     | -            | m      |

### Materialen

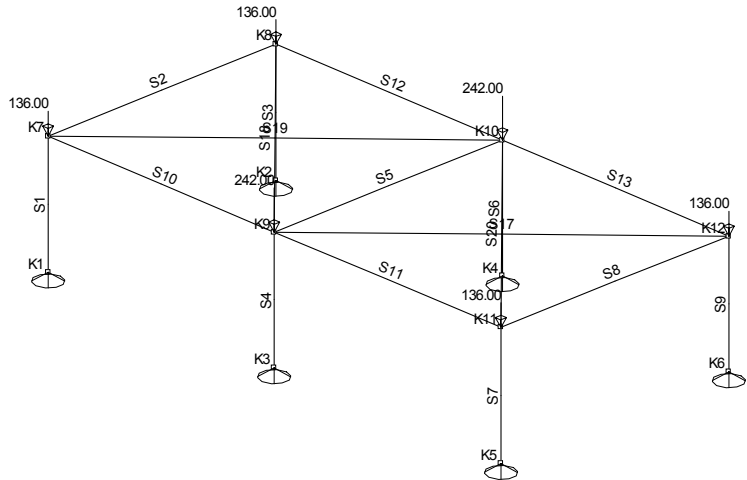
| Materiaalnaam | Poison | Dichtheid | E-Modulus  | Uitzettingcoeff. |
|---------------|--------|-----------|------------|------------------|
| S235          | 0.30   | 78.50     | 2.1000e+08 | 12.0000e-06      |
| -             | -      | kN/m3     | kN/m2      | C°m              |

### Belastingsgevallen

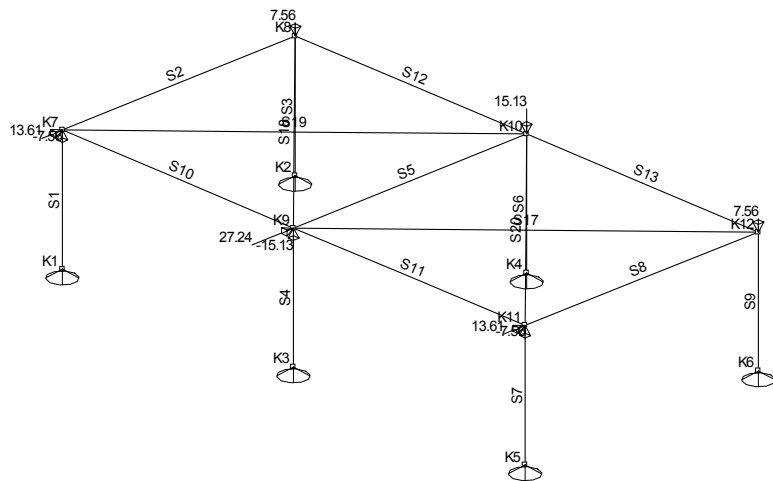
| Type                  | Beginwaarde | Eindwaarde | Beginafstand | Eindafstand | Richting | Staf of knoop   |
|-----------------------|-------------|------------|--------------|-------------|----------|-----------------|
| <b>B.G.1: gewicht</b> |             |            |              |             |          |                 |
| N                     | 136,00      |            |              |             |          | Z K7-K8,K11-K12 |
| N                     | 242,00      |            |              |             |          | Z K9-K10        |
| <b>B.G.2: wind</b>    |             |            |              |             |          |                 |
| N                     | 27,24       |            |              |             |          | X K9            |
| N                     | 13,61       |            |              |             |          | X K7,K11        |
| N                     | -7,56       |            |              |             |          | Z K7,K11        |
| N                     | 7,56        |            |              |             |          | Z K8,K12        |
| N                     | 15,13       |            |              |             |          | Z K10           |
| N                     | -15,13      |            |              |             |          | Z K9            |
| <b>B.G.3: water</b>   |             |            |              |             |          |                 |
| q                     | 19,50       | 19,50      | 0,000        | 1,500       |          | X S1,S4,S7      |
| F                     | 37,00       |            | 1,500        |             |          | Z' S1,S4,S7     |
| q                     | 19,50       | 19,50      | 1,500        | 3,000       |          | X S3,S6,S9      |
| F                     | 0,00        |            | 1,500        |             |          | Z' S3,S6,S9     |
| -                     | -           | -          | m            | m           |          | - -             |

### Incidenteel Belastingscombinaties

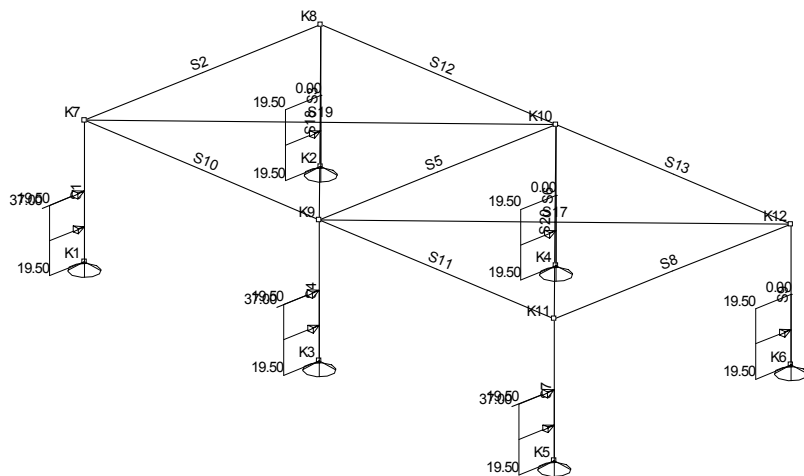
| B.G.  | Omschrijving | I.C.1 |
|-------|--------------|-------|
| B.G.1 | gewicht      | 1.00  |
| B.G.2 | wind         | 1.00  |
| B.G.3 | water        | 1.00  |



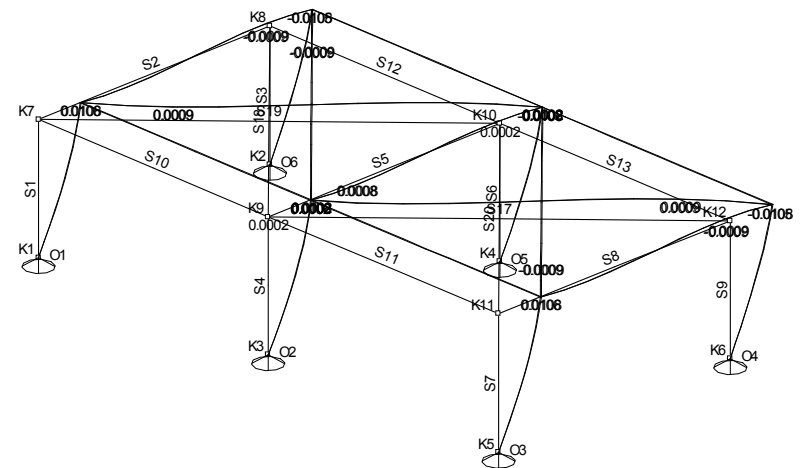
Afb. Lasten B.G.1 gewicht



Afb. Lasten B.G.2 wind



Afb. Lasten B.G.3 water



Afb. Verplaatsingen I.C.1

#### I.C. Knoopverplaatsingen berekening

| Knoop | B.C.  | X      | Y      | Z      | Rx         | Ry         | Rz         |
|-------|-------|--------|--------|--------|------------|------------|------------|
| K1    | I.C.1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.002e-03  | -4.951e-03 | 0.004e-03  |
| K2    |       | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.008e-03  | -4.577e-03 | 0.005e-03  |
| K3    |       | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000e-03  | -5.080e-03 | -0.000e-03 |
| K4    |       | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.000e-03 | -4.719e-03 | -0.000e-03 |
| K5    |       | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.002e-03 | -4.951e-03 | -0.004e-03 |
| K6    |       | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.008e-03 | -4.577e-03 | -0.005e-03 |
| K7    |       | 0.0108 | 0.0000 | 0.0001 | -0.004e-03 | -1.601e-03 | 0.004e-03  |
| K8    |       | 0.0108 | 0.0000 | 0.0002 | -0.012e-03 | -1.908e-03 | 0.005e-03  |
| K9    |       | 0.0108 | 0.0000 | 0.0002 | 0.000e-03  | -1.382e-03 | -0.000e-03 |
| K10   |       | 0.0108 | 0.0000 | 0.0002 | -0.000e-03 | -1.668e-03 | -0.000e-03 |
| K11   |       | 0.0108 | 0.0000 | 0.0001 | 0.004e-03  | -1.601e-03 | -0.004e-03 |
| K12   |       | 0.0108 | 0.0000 | 0.0002 | 0.012e-03  | -1.908e-03 | -0.005e-03 |
| -     | -     | m      | m      | m      | rad        | rad        | rad        |

## BIJLAGE VIII: Dimensionering ligger

HE300A:

| b<br>[mm] | h<br>[mm] | t<br>[mm] | G<br>[kg/m] | A<br>[mm <sup>2</sup> ] | I <sub>y</sub><br>[mm <sup>4</sup> ] $\times 10^4$ | W <sub>y;el</sub><br>[mm <sup>3</sup> ] $\times 10^3$ | W <sub>y;pl</sub><br>[mm <sup>3</sup> ] $\times 10^3$ | W <sub>z;el</sub><br>[mm <sup>3</sup> ] $\times 10^3$ | i <sub>y</sub><br>[m] | i <sub>z</sub><br>[m] |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 300       | 290       | 8,5-14    | 90          | 11250                   | 18263                                              | 1260                                                  | 1383                                                  | 421                                                   | 127                   | 74                    |

### Staalspanning

$$\frac{N_d}{A} + \frac{M_{s;d}}{W_{pl}} \leq f_{y;d}$$

$N_d = 19.6 \text{ kN}$  (pagina B66)

$M_{s;d} = 187.5 \text{ kNm}$  (pagina B66)

$f_{y;d} = 235 \text{ N/mm}^2$

$W_{pl} = 1383 \times 10^3 \text{ mm}^3$

$$\frac{19.600}{11250} + \frac{187.500.000}{1.383.000} = 137 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Voldoet}$$

### Afschuiving

$$\frac{V_{s;d}}{V_{u;d}} \leq 1.0$$

$V_{s;d} = 69.5 \text{ kN}$  (pagina B66)

$V_{u;d} = 0.58 \cdot f_{y;d} \cdot A = 0.58 \cdot 235 \cdot 11250 = 1533 \text{ kN}$

### Stabiliteit

De ligger wordt getoets op stabiliteit met buiging om de zwakke as.

$$1.1 \frac{N_{c;s;d}}{\omega_{y;buc} \cdot N_{pl;d}} + 1.1 \frac{M_{y;eq;u;s;d}}{M_{y;u;d}} \leq 1.0$$

$$N_{c;s;d} = 394.4 \text{ kN}$$

$$N_{pl;d} = 2644.0 \text{ kN}$$

$$M_{y;eq;u;s;d} = 112.5 \text{ kNm}$$

$$M_{y;u;d} = 325.0 \text{ kNm}$$

$$\omega_{y;buc} = 0.81$$

$$A \cdot f_{y;d} = 11250 \cdot 235$$

$$|0.6 \cdot M_b| = 0.6 \cdot 187.5 = 112.5$$

$$f_{y;d} \cdot W_{pl} = 235 \cdot 1383 \cdot 10^3$$

$$\lambda = L_{buc}/i = (5400/\sqrt{2})/74 = 52 \rightarrow \text{Instabiliteitskromme c, S235}$$

$$L_{buc} = L_{sys}/\sqrt{2} \text{ (vanwege belemmerde rotatie uiteinden staaf door verbinding met kolommen)}$$

$$1.1 \frac{394}{0.81 \cdot 2644} + 1.1 \frac{112.5}{325} = 0.58 \rightarrow \text{Voldoet}$$

### Doorbuiging

De doorbuiging wordt berekend met:

$$w_3 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q l^4}{EI} \leq \frac{l}{250}$$

$$q = q_{totaal,k} = 46 \text{ N/mm}^1 \text{ (Incl. eigen gewicht) (bijlage IV)}$$

$$L = 5400 \text{ mm}$$

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 8263 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$w_3 = \frac{5}{384} \cdot \frac{46 \cdot 5400^4}{210000 \cdot 182630000} = 13.3 \text{ mm} \quad \frac{5400}{250} = 21.6 \text{ mm} \rightarrow \text{Voldoet}$$

## BIJLAGE IX: Dimensionering fundering

### Funderingsbalken

|                             |                           |                           |                      |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| Afmetingen:<br>300 x 700 mm | Betonkwaliteit:<br>C20/25 | Staalkwaliteit:<br>FeB500 | Milieuklasse:<br>XC4 |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|

### Belastingen

Eigen gewicht vloer  
 $q_d = b \cdot G \cdot y = 2,7 \cdot 3,0 \cdot 1,2 = 9,7 \text{ kN/m}^1$

Eigen gewicht fundering  
 $q_d = b \cdot h \cdot \rho_{\text{beton}} \cdot g \cdot y = 0,3 \cdot 0,7 \cdot 2,4 \cdot 10 \cdot 1,2 = 6,1 \text{ kN/m}^1$

Veranderlijke belasting vloer  
 $q_d = b \cdot P_k \cdot y = 2,7 \cdot 3,0 \cdot 1,5 = 12,2 \text{ kN/m}^1$

Totale lijnlast fundering:  
 $q_d = 28,0 \text{ kN/m}^1$

De funderingsbalk is doorgaand over 10,8 meter en zodoende een ligger op drie steunpunten. De veldmomenten bedragen  $0,085 \cdot q \cdot L^2 = 0,10 \cdot 28,0 \cdot 5,4^2 = 69,4 \text{ kNm}$  en het piekmoment bij de middelste oplegging bedraagt  $0,115 \cdot q \cdot L^2 = 0,115 \cdot 28,0 \cdot 5,4^2 = 93,9 \text{ kNm}$ .

Deze momenten zijn berekend met herverdeling van momenten [1]

### Hoofdwapening

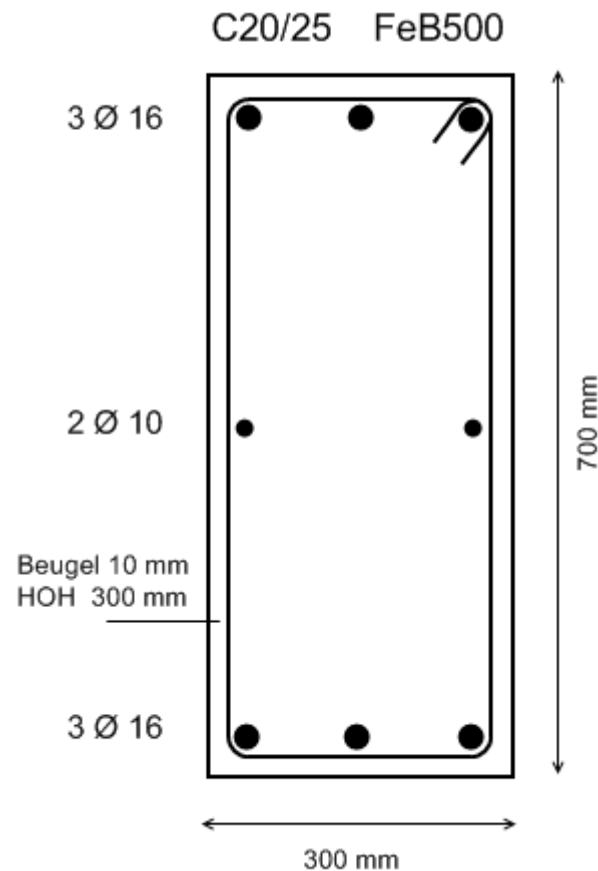
$$\frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f'_b} = \frac{93,9}{0,3 \cdot 0,642^2 \cdot 15} = 50,6$$

$d \approx h$  - dekking [2] - Ø beugel - 0,5 Ø hoofdwapening = 642 mm  
 $f'_b \text{ C20/25} = 15 \text{ N/mm}^2$

Het mechanische wapeningspercentage bedraagt 0,051 %. (ontwerptabellen)  
Voor C20/25 resulteert dit in een wapeningspercentage van 0,18 %.

[1] J.C. Walraven (2004). Collegedictaat gewapend beton. TU Delft.

[2] NEN 6720: 30 mm + 10 mm toeslag vanwege oncontroleerbaar bodemoppervlak en  $f'_b < 25 \text{ N/mm}^2$



$$A_{sl} = \omega_d / 100 \cdot b \cdot d = 0.0018 \cdot 300 \cdot 642 = 347 \text{ mm}^2 \rightarrow 3 \text{ Ø } 16 \text{ mm} = 603 \text{ mm}^2$$

Onderin worden dezelfde staven als hoofdwapening gebruikt. In de TGB-Beton, Art. 9.11.4.2 wordt voorgeschreven dat de verticale afstand van de horizontale flankstaven in de zijvlakken van balken ten hoogste 300 mm mag bedragen. Om deze reden zijn ook halverwege de hoogte van de balk twee staven van 8 mm aangebracht.

### Controle scheurwijdte

Voor betonconstructies in milieuklasse XC4 [1] geldt een maximaal toegestane scheurwijdte van 0.3 mm [2]. De wapening moet hiertoe aan twee eisen voldoen:

$$S \leq (75000 / \sigma_s) - 130$$

en

$$\emptyset \leq 3750 / \sigma_s$$

Waarin:

$$S = (b - 2 \cdot \text{dekking} - 2 \cdot \emptyset \text{ beugel} - \emptyset \text{ hoofdwapening}) / \text{aantal staven}$$

$$\sigma_s = \frac{q_{rep}}{q_d} \cdot f_s \cdot \frac{A_{s\_benodigd}}{A_{s\_aanwezig}}$$

$$\sigma_s = \frac{21.3}{28.0} \cdot 435 \cdot \frac{347}{603} = 190 \text{ N / mm}^2$$

$$q_{rep} = 21.3 \text{ N/mm}^1$$

$$q_d = 28.0 \text{ N/mm}^1$$

$$f_s = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{s\_benodigd} = 347 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\_aanwezig} = 603 \text{ mm}^2$$

$$S = (300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 16) / 3 = 61 \text{ mm} < (75000 / 190) - 130 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$3750 / 190 = 19.7 \text{ mm} > 16 \text{ mm} \rightarrow \text{Voldoet}$$

[1] Volgens: Art. 4.1 NEN-EN 206-1

[2] Volgens: Tabel 2 NEN 6720

## BIJLAGE XI: Berekening rivierwaterstand

*Analyse parametergevoeligheid formule van Chezy*

$$Q = B \cdot C \cdot h \cdot \sqrt{R \cdot i_b}$$

Waarin:

$Q$  = debiet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$B$  = watervoerende breedte [m]

$C$  = gemiddelde ruwheidsfactor [ $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ]

$h$  = waterdiepte [m]

$R$  = hydraulische straal [m]     $R$  = oppervlakte/omtrek rivierprofiel

$i_b$  = bodemverhang [-]

De Chezy- coëfficiënt  $C$  van de uiterwaard volgt uit onderstaande formule. (Harke 2006)

$$C = \sqrt{\frac{1}{\frac{A_r h C_d}{2g} + \frac{1}{C_b^2}}}$$

Waarin:

$A_r$  = representatief aangestroomde oppervlak palen [ $\text{m}^{-1}$ ]

$h$  = waterdiepte [m]

$C_d$  = weerstandscoefficiënt [-]

$g$  = zwaartkrachtsversnelling [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$C_b$  = Chezy coëfficiënt [ $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ]

$$A_r = n \cdot D / A_{\text{gebied}}$$

$n$  = aantal kolommen

$D$  = kolomdiameter

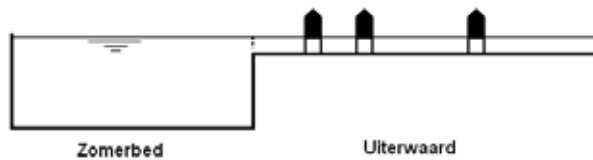
Om het aantal kolommen per oppervlakte van het gebied te berekenen wordt gerefereerd aan de GSI-waarde van 0.15 (pagina 110).

*Paalwoningen:*

$$n = \text{Bebouwd oppervlak} / \text{woningoppervlak} \cdot 6 = 0.15 A_{\text{gebied}} / 58 \cdot 6 = 0.0155 \cdot A_{\text{gebied}}$$

*Standaard woningen*

$$n = \text{Bebouwd oppervlak} / \text{woningoppervlak} = 0.15 A_{\text{gebied}} / 58 = 0.0026 \cdot A_{\text{gebied}}$$



Om inzicht te krijgen in de mate waarin de ruwheid veroorzaakt door bebouwing invloed heeft op het debiet, wordt de gevoeligheid van de verschillende parameters in de formules bepaald. De rivier wordt geschematiseerd tot twee naast elkaar liggende rechthoekige stroomprofielen, die het zomerbed en de uiterwaard representeren. De breedte en het verhang van de rivier worden constant verondersteld.

#### *Debiet uiterwaard*

De nieuwe Chezy-coëfficiënt is te bepalen met:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\frac{A_r h C_d}{2g} + \frac{1}{C_b^2}}}$$

Een reële waarde om aan te nemen voor de huidige Chezy-coëfficiënt bij een waterhoogte van 1,5 meter in de Meinerswijk is 20 m<sup>1/2</sup>/s. (Makaske 2007, Jesse 2004)

#### *Geen bebouwing*

$$C = 20 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

#### *Paalwoning*

$$A_r = 0.0155 \cdot 0.4 = 0.0062 \text{ m}^{-1}$$

$$C_d = 2.05 \quad [1]$$

$$C = \sqrt{\frac{1}{\frac{0.0062 \cdot 1.5 \cdot 2.05}{2 \cdot 9.81} + \frac{1}{20^2}}} = 17.0 \frac{\text{m}^{1/2}}{\text{s}}$$

#### *Standaard woning*

$$A_r = 0.0026 \cdot (5.4 + 10.8) / 2 = 0.0211 \text{ m}^{-1}$$

$$C_d = 2.32 \quad [2]$$

$$C = \sqrt{\frac{1}{\frac{0.0211 \cdot 1.5 \cdot 2.32}{2 \cdot 9.81} + \frac{1}{20^2}}} = 12.6 \frac{\text{m}^{1/2}}{\text{s}}$$

[1] Davis, R. W. and E. F. Moore (1982). "A numerical study of vortex shedding from rectangles". → Coëfficiënt vierkante kolom.

[2] „ → Gemiddelde coëfficiënt voor verschillend aangestroomde rechthoeken met inachtneming van verhouding oppervlakten.

Het totale afvoerdebiet van de rivier blijkt gelijk. Bij afnemend debiet van de uiterwaard zal de afvoer in het eigenlijke rivierbed toenemen.

Het debiet in de uiterwaard neemt door de bouw van paalwoningen of standaard woningen af met respectievelijk 15 en 37%. ( $Q \sim C$ ). Wanneer er aangenomen wordt dat de uiterwaard oorspronkelijk 20% van de maximale rivierafvoer voor zijn rekening nam, kan er het volgende gesteld worden betreft het debiet in het rivierbed:

|                                                  |                                                         |                                                         |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <i>Zonder bebouwing:</i>                         | <i>Met paalwoningen:</i>                                | <i>Met standaard woningen:</i>                          |
| $Q_{\text{uiterwaard}}: 0.2 * Q_{\text{totaal}}$ | $Q_{\text{uiterwaard}}: 0.85 * 0.2 * Q_{\text{totaal}}$ | $Q_{\text{uiterwaard}}: 0.63 * 0.2 * Q_{\text{totaal}}$ |
| $Q_{\text{rivierbed}}: 0.8 * Q_{\text{totaal}}$  | $Q_{\text{rivierbed}}: 0.83 * Q_{\text{totaal}}$        | $Q_{\text{rivierbed}}: 0.87 * Q_{\text{totaal}}$        |
| $\Delta Q_{\text{rivierbed}} \pm 0$              | $\Delta Q_{\text{rivierbed}}: 0.83/0.80 =$              | $\Delta Q_{\text{rivierbed}}: 0.87/0.80 =$              |
|                                                  | 1.038 $\rightarrow$ +3.8 %                              | 1.093 $\rightarrow$ +9.3 %                              |

*Gevolgen:*

Doordat het debiet toeneemt zullen zowel de stroomsnelheid als de waterstand in het rivierbed toenemen. De Chezy-coëfficiënt van het rivierbed blijft ongewijzigd. Bij gelijkblijvende breedte van de rivier geldt de volgende samenhang: (gebaseerd op formule van Chezy)

$$Q \sim h^{3/2} \quad \rightarrow \quad h \sim Q^{2/3}$$

|                          |                                  |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <i>Zonder bebouwing:</i> | <i>Met paalwoningen:</i>         | <i>Met standaardwoningen:</i>    |
| $\Delta h = 0$           | $\Delta h = 1.038^{2/3} = 1.025$ | $\Delta h = 1.093^{2/3} = 1.061$ |

$$Q = h * u \quad \rightarrow \quad \Delta u = \Delta Q / \Delta h$$

|                          |                                  |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <i>Zonder bebouwing:</i> | <i>Met paalwoningen:</i>         | <i>Met standaardwoningen:</i>    |
| $\Delta u = 0$           | $\Delta u = 1.038/1.025 = 1.013$ | $\Delta u = 1.093/1.061 = 1.030$ |

**Noot:**

In de berekeningen is uitgegaan van een wijziging van de Chezy-coëfficiënt in de uiterwaard over de gehele lengte van de rivier. Is het ingrijpingsgebied kleiner, zoals in de Meinerswijk, dan zal een deel van de waterstandstoename bovenstrooms optreden.

