

---

# **Maatregelen ter bestrijding van grondwateroverlast in bestaand stedelijk gebied**

**Een afweging van maatregelen**



Lucas van de Winckel  
Datum: 9 juni 2005  
Plaats: Capelle aan de IJssel

---



## **Maatregelen ter bestrijding van grondwateroverlast in bestaand stedelijk gebied**

### **Een afweging van maatregelen**

#### **Afstudeerscriptie van:**

L.C.E. van de Winckel  
Capelle aan de IJssel, 9 juni 2005

#### **Afstudeercommissie:**

Prof. dr. ir. N.C. van de Giesen

dr. ir. F.H.M. van de Ven

dr. ir. C.J.W.P. Groot

ing H. Prinsen

TU Delft, Civiele Techniek, Sectie  
Waterhuishouding

TU Delft, Civiele Techniek, Sectie  
Waterhuishouding

TU Delft, Civiele Techniek, Sectie Gebouwen en  
Civieltechnische Constructies  
Tauw bv

#### **Colofon**

Tauw Rotterdam  
afdeling Stedelijk Gebied & Infrastructuur  
Rijnspoor 209  
Postbus 6  
2900 AA Capelle a/d IJssel  
Telefoon (010) 288 61 00  
Fax (010) 288 61 66

Technische Universiteit Delft  
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Stevinweg 1  
Postbus 5048  
2600 GA Delft  
Telefoon (015) 2785440  
Fax (015) 2787966



## Voorwoord

Voor u ligt de verslaglegging van mijn afstudeeronderzoek dat ik heb uitgevoerd in het kader van de afstudeerrichting Watermanagement van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Dit onderzoek heb ik uitgevoerd bij ingenieursbureau Tauw te Capelle aan de IJssel.

Deze afstudeerscriptie is een van de twee scripties die samen deel uit maken van het project "Boven water komen". Een van de doelen van dit project is om tot oplossingsrichtingen te komen waarmee grondwateroverlast op de lange termijn (2030) kan worden voorkomen en of in ieder geval kan worden gereduceerd. Tauw bv. heeft om tot deze oplossing te komen een consortium opgericht waarin diverse partijen bij grondwateroverlast vertegenwoordigd zijn. Dit consortium bestaat uit Gemeente Hengelo, Gemeente Delft, Gemeente Dordrecht, Gemeente Den Haag, Hoogheemraadschap Delfland, Waterschap Regge en Dinkel, Bewonersplatform Binnenstad Noord en de Technische Universiteit Delft. Het consortium heeft bijgedragen aan het onderzoek onder andere door experts beschikbaar te stellen voor interviews. Hiervoor ben ik het consortium zeer erkentelijk.

Daarnaast is deze afstudeerscriptie mede tot stand gekomen dankzij de hulp van een groot aantal andere mensen. Ik bedank mijn afstudeercommissie, bestaande uit Prof. dr. ir. N.C. van de Giesen, dr. ir. F.H.M. van de Ven, dr. ir. C.J.W.P. Groot en ing. H. Prinsen voor hun begeleiding. Tevens bedank ik de experts binnen Tauw voor hun adviezen.

Voor lezers die geïnteresseerd zijn in de maatregelen die uitgevoerd kunnen worden in de woning raad ik aan hoofdstuk 3 te lezen. Lezers geïnteresseerd in mogelijke maatregelen op het openbare terrein ter bestrijding van grondwateroverlast kunnen hoofdstuk 4 en 5 raadplegen.

Lucas van de Winckel  
juni 2005



## Inhoudsopgave

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Voorwoord .....                                                                  | V   |
| Inhoudsopgave .....                                                              | VII |
| Samenvatting.....                                                                | IX  |
| Summary .....                                                                    | XI  |
| Inleiding .....                                                                  | 1   |
| 1.1 Aanleiding van het onderzoek .....                                           | 1   |
| 1.2 Belang van het onderzoek.....                                                | 1   |
| 1.3 Doelstelling van het onderzoek .....                                         | 1   |
| 1.4 Werkwijze .....                                                              | 2   |
| 1.5 Definitie van grondwateroverlast .....                                       | 3   |
| 1.6 Leeswijzer.....                                                              | 3   |
| 2 De problemen bij grondwateroverlast .....                                      | 5   |
| 2.1 Actoren, belangen en verantwoordelijkheden .....                             | 5   |
| 2.2 Perceptie bewoners.....                                                      | 7   |
| 2.2.1 Aspecten die de perceptie beïnvloeden.....                                 | 7   |
| 2.2.2 Bewonersverenigingen .....                                                 | 8   |
| 2.3 Gezondheidsklachten bij vochtige woningen .....                              | 9   |
| 2.4 Economische schade .....                                                     | 12  |
| 2.4.1 Schade aan woningen .....                                                  | 12  |
| 2.4.2 Schade aan wegen .....                                                     | 13  |
| 2.4.3 Schade aan groenvoorzieningen .....                                        | 16  |
| 3 Vochtoverlast in de woning .....                                               | 19  |
| 3.1 Systeem optrekkend vocht .....                                               | 19  |
| 3.1.1 Factoren die grondwaterstanden beïnvloeden .....                           | 19  |
| 3.1.2 Factoren die het vochttransport door de muur beïnvloeden.....              | 23  |
| 3.1.3 Factoren waardoor bewoners overlast ervaren .....                          | 26  |
| 3.1.4 Conclusie .....                                                            | 26  |
| 3.2 Maatregelen tegen optrekkend vocht.....                                      | 27  |
| 3.2.1 Maatregelen tegen hoge grondwaterstanden .....                             | 27  |
| 3.2.2 Maatregelen tegen vochttransport door de muur.....                         | 29  |
| 3.3 Systeem vochttransport vanuit kruipruimte naar woning .....                  | 35  |
| 3.3.1 Factoren die het vochtgehalte in de kruipruimte beïnvloeden .....          | 35  |
| 3.3.2 Factoren die het vochttransport door de vloer beïnvloeden .....            | 36  |
| 3.3.3 Factoren die de overlast beïnvloeden.....                                  | 37  |
| 3.4 Maatregelen tegen het vochttransport van de kruipruimte naar de woning ..... | 37  |
| 3.4.1 Maatregelen tegen te hoge grondwaterstanden .....                          | 38  |
| 3.4.2 Maatregelen tegen het te hoge vochtgehalte in de kruipruimte.....          | 38  |
| 3.4.3 Maatregelen die het vochttransport door de vloer verminderen .....         | 40  |
| 3.4.4 Maatregelen die het ervaren van overlast verminderen .....                 | 40  |
| 3.4.5 Samenvatting maatregelen .....                                             | 40  |
| 3.5 Diagnose .....                                                               | 41  |
| 4 Maatregelen gemeente .....                                                     | 43  |
| 4.1 Actief verticaal onttrekken van grondwater .....                             | 44  |

|       |                                              |    |
|-------|----------------------------------------------|----|
| 4.1.1 | Berekeningen .....                           | 44 |
| 4.1.2 | Kosten .....                                 | 45 |
| 4.2   | Horizontale drainage .....                   | 46 |
| 4.2.1 | Berekeningen .....                           | 46 |
| 4.2.2 | Omhuilingsmaterialen .....                   | 50 |
| 4.2.3 | Onderhoud .....                              | 51 |
| 4.2.4 | Monitoren werking drainage .....             | 52 |
| 4.2.5 | Kosten .....                                 | 53 |
| 4.2.6 | Flexibiliteit .....                          | 53 |
| 4.2.7 | Conclusie .....                              | 53 |
| 4.3   | Aanpassen van het oppervlaktewaterpeil ..... | 53 |
| 4.4   | Verticale drainage .....                     | 54 |
| 4.5   | Ophogen van het maaiveld .....               | 55 |
| 5     | Afweging maatregelen .....                   | 57 |
| 5.1   | Criteria .....                               | 57 |
| 5.2   | Indeling gebieden .....                      | 57 |
| 5.3   | Oplossingsstrategie .....                    | 58 |
| 6     | Case studie .....                            | 63 |
| 6.1   | Probleemanalyse .....                        | 63 |
| 6.2   | Hydrologische opbouw plangebied .....        | 66 |
| 6.2.1 | Bodemopbouw .....                            | 66 |
| 6.2.2 | Grondwatersysteem .....                      | 67 |
| 6.3   | Maatregelen .....                            | 67 |
| 6.4   | Vergelijking van aanpak .....                | 68 |
| 6.5   | Conclusie .....                              | 69 |
| 7     | Conclusies en aanbevelingen .....            | 71 |
| 7.1   | Conclusies .....                             | 71 |
| 7.2   | Aanbevelingen .....                          | 73 |
| 7.3   | Slot .....                                   | 73 |

## Bijlage(n)

1. Literatuurlijst
2. ICES/KIS Projectorganisatie en onderzoekskader
3. Definitie grondwateroverlast
4. Commissie Integraal Waterbeheer
5. Informatie GGD Rotterdam en omstreken
6. Verdieping gezondheidsklachten
7. Opvriesmechanisme
8. Capillair transport
9. Vergelijking van Donnan
10. Eigenschappen drains



## Samenvatting

In Nederland is al jaren sprake van grondwateroverlast. Onder andere omdat niet duidelijk is wie verantwoordelijk is voor het grondwater in de stad, is dit al jaren slepende probleem nog steeds niet opgelost. De Commissie Integraal Waterbeheer (CIW) heeft daarom in februari 2004 een aantal aanbevelingen gedaan waardoor grondwateroverlast in de toekomst verminderd kan worden. Een van de belangrijkste aanbevelingen in dit onderzoek is dat gemeenten de zorgplicht krijgen voor de afvoer van het overtollige grondwater van de bewoner vanaf de perceelgrens.

Het doel van het huidige onderzoek is om de bouw- en grondwatertechnische maatregelen tegen grondwateroverlast in bestaand stedelijk gebied in kaart te brengen, te evalueren en afweegbaar te maken voor gemeenten en perceeleigenaren. De doelstelling wordt uitgewerkt aan de hand van de volgende aantal hoofdvragen:

1. Welke technische maatregelen tegen grondwateroverlast zijn mogelijk?
  - Maatregelen door bewoners, grondwater- en bouwtechnisch;
  - Maatregelen door gemeente, alleen grondwatertechnisch.
2. In wat voor een soort gebieden treedt grondwateroverlast op?
3. In welke soort woningen treedt grondwateroverlast op?
4. Welke criteria worden er gebruikt om de technische maatregelen afweegbaar te maken?
5. In hoeverre voldoen de verschillende maatregelen aan deze criteria?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden zijn interviews met experts gehouden en is er een literatuuronderzoek uitgevoerd.

De hoofdgedachte in dit onderzoek is dat de gemeente als eerste maatregelen op het openbare terrein neemt ter bestrijding van de grondwateroverlast. Op deze manier kan de gemeente de grondwaterstanden op het openbare terrein beheersen en wordt een groot deel van de bewoners geholpen. Niet alle grondwaterproblemen zijn echter in bestaand stedelijk gebied op te lossen met grondwatertechnische maatregelen. De oorzaak hiervan kan zijn dat de fundering van een woning of de bodem van de kruipruimte zich onder de ontwateringsdiepte bevindt. Voor dergelijke oorzaken van grondwaterproblematiek kunnen bouwtechnische maatregelen zorgen voor een oplossing.

Te hoge grondwaterstanden kunnen in een woning rottende balken, rottende vloeren, een muffe lucht, vochtplekken, afbladderend stucwerk en schimmelvorming veroorzaken. Een andere vorm van overlast is dat het leven in een te vochtige woning kan resulteren in gezondheidsklachten. De relatie tussen gezondheidsklachten en een vochtige woning wordt in meerdere onderzoeken aangetoond. Voorbeelden hiervan zijn er legio: volwassenen met caratklachten, die deze klachten mogelijk oplopen hebben in vochtige woningen; kinderen hebben door het opgroeien in een vochtige woning drieëneenhalf keer zoveel kans om allergische reacties op bepaalde allergenen te ontwikkelen. Niet al het vocht in woningen vindt zijn oorzaak in te hoge grondwaterstanden, ook de leefwijze van bewoners en een slechte ventilatie kan vocht in woningen veroorzaken. Daarom wordt aangeraden om te inventariseren hoeveel gezondheidsklachten, en de hierbij gepaarde kosten, werkelijk ontstaan door te hoge grondwaterstanden.

Niet alleen de bewoner ondervindt overlast van hoge grondwaterstanden, ook de gemeente ondervindt overlast. Deze grondwateroverlast uit zich in schade aan groenvoorzieningen en extra slijtage van de wegen. Dit laatste wordt veroorzaakt door het opvriezen, het opdoeien en een verminderde draagkracht van de onderbouw. Hoeveel schade hierdoor geleden wordt door de gemeenten zou nog onderzocht kunnen worden. Ook andere factoren kunnen invloed hebben op de extra slijtage van het wegdek. Hoge grondwaterstanden hebben een grote invloed op de groeimogelijkheden voor groenvoorzieningen. In het verleden is hier veel onderzoek naar verricht. Deze onderzoeken hebben de benodigde wortelruimte en de optimale grondwaterstand bepaald voor diverse bomen en planten.

In dit onderzoek is ervoor gekozen om grondwateroverlast in de woning te beschrijven aan de hand van twee systemen: optrekkend vocht en vochttransport van de kruipruimte naar de woning. De grondwateroverlast kan door de bewoners bestreden worden door het uitvoeren van bouwtechnische en kleinschalige hydrologische maatregelen. Op de markt zijn veel maatregelen tegen optrekkend vocht te vinden. Niet alle maatregelen hebben echter in alle gevallen evenveel effect. Voordat de bewoner overgaat tot het nemen van maatregelen, is het verstandig om eerst een goede diagnose uit te laten voeren. Hierdoor voorkomt de bewoner dat niet-gepaste maatregelen uitgevoerd worden.

Het injecteren van de muren met waterafstotende middelen en het toepassen van mechanisch methoden zoals het verwijderen van een laag bakstenen en deze vervangen door ondoorlatend materiaal zoals bijvoorbeeld lood zijn maatregelen die als effectief beschouwd worden. Deze maatregelen onderscheiden zich van elkaar door verschillen in kosten en levensduur. De chemische middelen zijn meestal minder lang werkzaam dan de mechanische systemen. Daarnaast bestaan er ook veel maatregelen tegen het vochttransport vanuit de kruipruimte. Voorbeelden van dergelijke maatregelen zijn het aanbrengen van schuimbeton of folies op de bodem van de kruipruimte. Deze maatregelen tegen vochttransport vanuit de kruipruimte worden zeer effectief bevonden. Op dit moment bestaat nog twijfel over de werking en vooral de levensduur van schelpen in de kruipruimte. Net zoals bij optrekkend vocht dient een goede diagnose te worden gesteld om de meest effectieve maatregel toe te passen. Naast het uitvoeren van deze maatregelen dient de bewoner er ook voor te zorgen dat het vocht de kruipruimte en de woning kan verlaten. Hiervoor is het ventileren van de woning en kruipruimte geschikt.

Kleinschalige hydrologische maatregelen zijn het toepassen van een pompinstallatie in de kruipruimte en het aanleggen van horizontale en verticale drainage. Het toepassen van een pompinstallatie wordt gezien als een gevaarlijke oplossing vanwege de kans op zettingen. De aanleg van horizontale drainage wordt gezien als een effectieve oplossing. Het gebruik van verticale drainage is aan specifieke hydrologische eisen gebonden en wordt vooral uitgevoerd op basis van ervaring.

De gemeente heeft de volgende maatregelen tot haar beschikking om de grondwaterstand te verlagen: horizontale drainage, actieve verticale drainage, verticale drainage en het verlagen van het oppervlaktewaterpeil. Van deze verschillende maatregelen voldoet alleen horizontale drainage aan de zorgplicht. Daarom nemen we alleen deze maatregel in beschouwing. In het geval horizontale drainage niet mogelijk is, kan wel gekozen worden voor de andere maatregelen. Niet alle maatregelen zijn toepasbaar in alle overlastgebieden. Daarom is Nederland ingedeeld in vier type overlastgebieden: gebieden met relatief grote hoogte verschillen, gebieden met een zettingsgevoelige veenbodem, gebieden met een sterke relatie tussen het ondiepe en diepe grondwater en gebieden met een slechte doorlatendheid van de bovenste laag. Aangenomen wordt dat, behalve als er sprake is van een zettingsgevoelige veenbodem, de gemeente overgaat tot de aanleg van horizontale drainage. Indien de door de gemeente aangelegde drainage geen effect heeft op de overlast van de bewoners, zullen de bewoners ook overgaan tot de aanleg van drainage. In het geval dat de woningen gebouwd zijn op een zettingsgevoelige veenbodem en de kans bestaat op inklinking van de bodem, wordt de bewoners aangeraden direct over te gaan tot bouwtechnische maatregelen. Als de drainage niet effectief is, moet worden overgegaan tot het toepassen van bouwtechnische maatregelen.

Om zo effectief mogelijk het grondwaterprobleem op te lossen, is een juiste voorlichting noodzakelijk. Hierdoor krijgt de bewoner niet alleen inzicht in de mogelijke oplossingen die de gemeente kan bieden, maar krijgt hij ook inzicht in de maatregelen die hij zelf zou moeten nemen, daar waar de zorgplicht van de gemeente ophoudt. Nadat de gemeente maatregelen heeft genomen, is de bewoner namelijk zelf verantwoordelijk op zijn eigen perceel.

## Summary

There have been clear cases of a nuisance due to too high a groundwater table in the Netherlands for years. This problem, that has been lingering for a number of years, has not been solved yet, because it is not clear who is responsible for groundwater in towns. The Netherlands Commission for Integrated Water Management suggested some recommendations in February 2004 regarding the reduction of a nuisance due to too high a groundwater table for future times. One of the major recommendations in this survey is that the "duty of care" is imposed on the municipalities; as a result they must see to the drainage of excessive groundwater of the residents as it is measured from the boundary of their site.

The aim of this survey is to provide municipalities with possibilities to assess, consider and make sketches of building construction & groundwater table measures against nuisance due to too high a groundwater table in current urban areas. The principal idea of this is that the municipality is to be the first one to take measures fighting the nuisance due to too high a groundwater table. In this way the municipality can control the groundwater tables in public areas and the majority of its citizens are helped out. However, it is impossible to solve all groundwater problems in actual urban areas applying groundwater measures. They may be caused by the building foundations or the bottom of a crawl space being below dewatering depth level.

Groundwater tables that are too high may cause rot in beams and floors, stale air, damp spots, stucco that is peeling off and mildew. Another cause of trouble is that living in a house that is too moist may lead to failing health. Such a relationship between failing health and damp houses has been shown in several studies. To illustrate this: adults suffering from carcinoma may have incurred the disease at an earlier stage by living in a moist house. Children run a 350 per cent higher risk of developing allergic reactions to certain allergens, when growing up in a damp house. Not always is the moisture in houses due to groundwater tables that are too high. The life-style of their occupants and a bad ventilation may be the cause of this problem. It is recommended to list how many health complaints and the costs attached really stem from groundwater tables that are too high. Not only does the occupant of a house experience a nuisance due to excessive groundwater tables, but municipalities are victimised just as well. This too high a level of groundwater tables damages green areas and roads wear out more rapidly. The road damage is caused by lifting of the road surface by frost and thawing and on top of that by foundation bearing power reduction. To what extent municipalities suffer damage as a result of this could be researched in the future. There are also other factors involved that influence the extra wear off of the road surface. High groundwater tables greatly affect the growth potential of green areas. Many surveys to study this phenomenon were carried out in the past. These studies have determined the root space needed and the optimal groundwater table for a variety of trees and plants.

This survey has chosen to describe the nuisance due to too high a groundwater table in the house on the basis of two systems i.e. damp rising from the ground and moist transportation from the crawling space to the house. Such nuisance can be fought by the residents by implementing constructional and small - scale hydrology - based measures. The market is swamped with products to fight damp rising from the ground. However, they are not all of them equally effective. It is important and common sense for the occupant of the house to have a diagnose made first. After this has been done a building contractor can be called in. However, make sure, to hire a reliable one. Some building contractors wish to sell their "own" products. The following measures are considered to be effective: wall injection using water repellent agents, and applying mechanical methods, such as removing a layer of bricks and replacing them with impermeable material e.g. lead. The difference is cost and long - or short - life. Chemicals are usually shorter-lived than mechanical methods. There are many means against moist transportation from the crawling space available in the marketplace. Applying foamed concrete or foils on the bottom of crawling spaces are regarded as most efficient. At the moment

there is still some doubt regarding the efficiency and especially the duration of shells in the crawling space. Here, too, a good diagnose is essential, as was the case with rising damp from the ground, in order to be able to apply the most efficient measure. Besides carrying out these measures the resident needs to make sure that moist can leave the crawling space and the house; ventilation of the house and the crawling space serve this purpose well.

Small-scale hydrology-based measures are: applying a drainage pump in the crawling space and the construction of both horizontal and vertical drainage. Applying a drainage pump is considered to be a risky solution, since this may lead to subsidences. Construction of horizontal drainage is regarded as an efficient solution. Applying vertical drainage is bound by specific hydrology-related requirements and is mainly used based on experience.

Municipalities have the following methods to reduce the groundwater table at their disposal: horizontal drainage, active vertical drainage, vertical drainage and lowering the surface water level. It is only horizontal drainage that meets all the requirements as to "duty of care". Therefore the various other possible options are not to be compared on the basis of a number of criteria. Should horizontal drainage prove to be impossible, one can choose one of the alternative measures. Not all measures are applicable in all nuisance areas. Therefore the Netherlands is divided into four types of nuisance districts. Areas with a relatively high altitude variation, areas with peat soils which are sensitive for subsidence, areas having a strong relationship between the phreatic water and the deep groundwater levels, and areas having a high degree of bad permeability in the upper soil layers.

It is assumed that the municipality proceeds to construct horizontal drainage. If this construction by the municipality authorities does not lead to inconvenience for the residents, then they start constructing drainage themselves, too. If houses have been built on peat soil and thus there is a risk of bedding down of the ground, then the residents are advised to immediately proceed to building construction measures. If drainage does not help, then building construction measures should be taken. Giving the right type of information is mandatory in order to have the whole process pass off smoothly. It should be brought home to the resident that a nuisance due to too high a groundwater table cannot be solved by the municipality for each house. The resident is always responsible for his own site, after the municipal authorities have taken their responsibility and also the appropriate measures.

## Inleiding

### 1.1 Aanleiding van het onderzoek

Onderzoekers van KPMG en Grontmij schatten dat in Nederland ongeveer 260.000 woningen te maken hebben met grondwateroverlast. De schade als gevolg van deze overlast is niet eenvoudig in kaart te brengen. De kosten voor de herstel worden geschat tussen de 550 miljoen en de 1,2 miljard euro. Naast onduidelijkheid over herstel, bestaat er ook onduidelijkheid over de taakverdeling en de verantwoordelijkheid met betrekking tot het grondwater in het stedelijk gebied. Door deze onduidelijke taakverdeling, is tot op heden weinig ondernomen door de verschillende overheden om de burger tegemoet te komen en de overlast weg te nemen. Grondwateroverlast in de woonomgeving is aldus nog steeds een probleem en de verwachting is dat dit zelfs alleen maar zal toenemen bij ongewijzigd beleid (Brinkman & Van Twuijver, 2005; KPMG & Grontmij, 2001).

De grondwaterstanden kunnen stijgen door peilverhogingen, het verstoppert van drains, het stopzetten van grondwateronttrekkingen, de inklinking van slappe veen en kleigronden, het afkoppelen van regenwater van de riolering, de klimaatverandering en de vervanging van oude rioleringen met drainerende werking. Niet alleen stijgende grondwaterstanden zijn de oorzaak van de overlast, ook bouwmaterialen, bouwtechnieken, veroudering en schade aan een constructie kunnen overlast veroorzaken. Zo hebben oude woningen eerder last van optrekkend vocht in de muren dan nieuwe woningen.

De grondwateroverlast op het particuliere terrein uit zich in de woning vooral in schimmelvorming, afbladderend stucwerk, rotte balken, een muffe lucht en gezondheidsklachten; buiten de woning levert het slecht begaanbare tuinen op en op het openbare terrein leidt grondwateroverlast onder andere tot slechte groeiomstandigheden voor bomen en beschadigde wegen.

### 1.2 Belang van het onderzoek

Vanaf de jaren tachtig is veel onderzoek gedaan naar grondwateroverlast. De meeste onderzoeken hebben grote overeenkomsten en vaak komt men tot de conclusie dat de verantwoordelijkheid met betrekking tot het grondwater in de stad niet helder is. Ook vermelden de meeste onderzoeken bepaalde oplossingsrichtingen en maatregelen die de overlast kunnen wegnemen. Vooral grondwatertechnische maatregelen worden onder de loep genomen. Echter slechts weinig aandacht is besteed aan de combinatie van bouwtechnische en grondwatertechnische maatregelen. Het vermoeden bestaat dat sommige van de maatregelen die tegen grondwateroverlast worden genomen, niet altijd de juiste zijn. Het belang van het huidige onderzoek is dan ook het inzichtelijk maken van de mogelijke maatregelen die genomen kunnen worden door de bewoners en de gemeente. Diverse aannemers geven bijvoorbeeld aan dat zij bij woningen bouwtechnische maatregelen van andere aannemers aantreffen, die niet geschikt zijn voor het aanwezige probleem.

Tijdens gesprekken tussen diverse aannemers en bewoners komt naar voren dat aannemers vaak gespecialiseerd zijn in één soort maatregel. Als zij worden aangenomen om maatregelen tegen grondwateroverlast uit te voeren, zijn zij vaak geneigd om de "eigen" maatregel aan te raden terwijl deze maatregel onder de omstandigheden wellicht niet de meest wenselijke maatregel is. Bewoners kunnen hiervan de dupe worden.

### 1.3 Doelstelling van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is de bouw- en grondwatertechnische maatregelen tegen grondwateroverlast in bestaand stedelijk gebied in beeld te brengen, te evalueren en afweegbaar te maken voor gemeenten en perceeleigenaren. Een aantal termen uit de doelstelling worden nader beschreven:

**Bouwtechnische maatregelen:** Bouwtechnische maatregelen zijn maatregelen die de perceelegeigenaar/bewoner in zijn woning kan treffen, teneinde de effecten van hoge grondwaterstanden te bestrijden. Deze maatregelen worden vaak door de perceelegeigenaar zelf betaald, in sommige gevallen is er ook subsidie beschikbaar voor dergelijke maatregelen. Bouwtechnische maatregelen worden alleen uitgevoerd in opdracht van de perceelegeigenaar.

**Grondwatertechnische maatregelen:** Grondwatertechnische maatregelen zijn maatregelen die tot doel hebben de grondwaterstand te verlagen. Deze maatregelen kunnen grootschalig en kleinschalig zijn. Een grondwatertechnische maatregel kan zowel door de gemeente als door de perceelegeigenaar worden uitgevoerd. Zo kan de gemeente drainage leggen in een woonwijk en kan de perceelegeigenaar zelf drainage aanleggen in zijn te natte tuin.

**Bestaand stedelijk gebied:** Een onderscheid wordt gemaakt tussen bestaand stedelijk gebied en nieuw stedelijk gebied. Vanwege de in het Bouwbesluit opgenomen normen en eisen zou minder grondwateroverlast moeten optreden in nieuwbouwwijken. Woningen moeten namelijk een dampdichte vloer hebben. Onderzoek van Biron (2004) heeft laten zien dat in nieuwbouwwijken minder grondwateroverlast zou moeten optreden, maar dat in de praktijk nog steeds sprake is van grondwateroverlast in nieuwbouwwijken. Volgens het onderzoek van Biron wordt dit vooral veroorzaakt door missers van aannemers. Foutieve aanleg van drainage of het niet dampdicht maken van de begane grondvloer zijn daar voorbeelden van. In het bestaand stedelijke gebied echter zijn veel bouwterreinen onvoldoende bouw- en woonrijp gemaakt. Ook waren de normen en eisen in het Bouwbesluit destijds nog niet zo streng.

In het huidige onderzoek zal niet gekeken worden naar de problemen in nieuwbouwwijken. Wij richten ons op de problemen in de woningen die gebouwd zijn voordat bekend was wat de invloed zou kunnen zijn van het bouwrijp maken en voordat er normen bestonden die de woning beschermden tegen grondwateroverlast.

**Afweegbaar maken:** Aan de hand van een aantal criteria zal geprobeerd worden de maatregelen inzichtelijker te maken voor degenen die te maken hebben met grondwateroverlast. Hierdoor kunnen zij een afgewogen keuze maken tussen mogelijke maatregelen die toegepast kunnen worden. Een systematiek om tot een keuze te komen zal worden uitgewerkt.

## 1.4 Werkwijze

De doelstelling zal worden uitgewerkt aan de hand van een aantal hoofdvragen:

6. Welke technische maatregelen tegen grondwateroverlast zijn mogelijk?
  - Maatregelen door bewoners, grondwater- en bouwtechnisch;
  - Maatregelen door gemeente, alleen grondwatertechnisch.
7. In wat voor een soort gebieden treedt grondwateroverlast op?
8. In welke soort woningen treedt grondwateroverlast op?
9. Welke criteria worden er gebruikt om de technische maatregelen afweegbaar te maken?
10. In hoeverre voldoen de verschillende maatregelen aan deze criteria?

De opbouw van het onderzoek is als volgt: eerst wordt de problematiek rondom grondwateroverlast besproken. Aan de hand van literatuur en interviews wordt ingegaan op de perceptie van grondwateroverlast. Ook wordt ingegaan op de schade die grondwateroverlast kan aanrichten. In het daaropvolgende hoofdstuk wordt de problematiek die de perceelegeigenaar ervaart bekeken. De perceelegeigenaar kan bouw- en grondwatertechnische maatregelen uitvoeren. De maatregelen die de perceelegeigenaar kan uitvoeren, zullen worden onderzocht door de grondwateroverlast op te splitsen in twee systemen. Op deze manier kan geanalyseerd worden welke maatregelen genomen kunnen worden. De maatregelen zullen gedetailleerd



worden beschreven en de voor- en nadelen van de maatregelen zullen worden belicht. De informatie over de verschillende maatregelen zal worden verkregen via experts en uit literatuur.

Hetzelfde zal gebeuren voor de maatregelen die de gemeente kan treffen. De gemeente kan grondwaterstand verlagende maatregelen nemen, zoals het aanleggen van horizontale drainage en het verticaal onttrekken van grondwater.

In het onderzoek gaan we uit van de volgende afbakening om het hanteerbaar en haalbaar te houden:

- Hoewel voor de meeste bewoners natte kelders onder het begrip grondwateroverlast vallen, wordt dit probleem niet meegenomen in het onderzoek.
- De juridische-bestuurlijke en organisatorische kennis die nodig is om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, zal worden verzameld in een apart onderzoek.
- Niet tot nauwelijks wordt aandacht besteed aan te lage grondwaterstanden. Dit omdat de problematiek met te lage grondwaterstanden een heel ander problemen met zich mee brengt, namelijk funderingsproblemen.
- Dit onderzoek richt zich alleen op grondwaterproblemen in bestaand stedelijk gebied. Problemen met grondwateroverlast in nieuwbouwwijken blijven buiten beschouwing.
- De perceptie van grondwateroverlast is voor een duidelijk beeld van de problematiek van belang, maar zal niet verder worden onderzocht.
- De interviews en bijeenkomsten worden alleen gehouden met experts die vertegenwoordigd zijn binnen het consortium. Experts die andere werkzaamheden hebben dan de experts van het consortium worden wel geraadpleegd. In [bijlage 2](#) wordt een extra toelichting gegeven over de samenstelling van het consortium en het kader van dit onderzoek.
- Een case studie wordt uitgevoerd in de gemeente Delft. De case studie zal aan het eind van dit onderzoek uitgevoerd worden om te toetsen of de maatregelen die volgens dit onderzoek zouden moeten worden toegepast, ook door deze gemeente is toegepast.
- Elke woning heeft zijn eigen randvoorwaarden voor het goed functioneren van een bouwtechnische of een grondwatertechnische maatregel. Maximaal vier verschillende typen woningen worden onderscheiden voor het afweegbaar kunnen maken van de verschillende maatregelen.

## 1.5 Definitie van grondwateroverlast

Voor het onderzoek is het belangrijk inzichtelijk te maken wat de term grondwateroverlast inhoudt. Om hier inzicht in te krijgen, is een literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn interviews gehouden. Verschillende onderzoeken gebruiken verschillende definities voor het begrip grondwateroverlast. In [bijlage 3](#) wordt een aantal van deze definities geanalyseerd en wordt ingegaan op de interviews die gehouden zijn met leden van het consortium. Ook wordt het proces om tot onderstaande definitie te komen nader toegelicht. De definitie van grondwateroverlast voor dit onderzoek is de volgende:

*Die situatie waarbij er sprake is van aantasting van een of meer gebruiksfuncties van een onroerend goed door een structureel (te) geringe ontwateringsdiepte.*

## 1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zal gekeken zal worden naar de meest voorkomende problemen bij grondwateroverlast. Ook zal een theoretische verklaring worden gegeven voor de problemen. Zo wordt onder andere ingegaan op gezondheidsklachten door het wonen in vochtige woningen, schade aan wegen en schade aan groenvoorzieningen door te hoge grondwaterstanden. In hoofdstuk 3 wordt verder ingegaan op de oorzaken van vochtoverlast in de woning. In dit hoofdstuk wordt vochtoverlast in de woning in twee systemen ingedeeld: optrekkend vocht en vochttransport van de kruipruimte naar de woning. Deze processen en de verschillende tegenmaatregelen worden beschreven. In hoofdstuk 4 komt de

grondwateroverlast aan bod waarmee de gemeente te maken heeft. De maatregelen die de gemeente op openbaar gebied kan nemen worden in dit hoofdstuk ook verder beschreven. In hoofdstuk 5 zullen de verschillende maatregelen die burgers en gemeente kunnen nemen worden geordend en geprioriteerd aan de hand van een afwegingskader dat werd opgesteld. Het kader wordt in hoofdstuk 6 getoetst aan de hand van een case studie. Tot slot wordt het onderzoek in hoofdstuk 7 afgesloten met een aantal conclusies en aanbevelingen.



## 2 De problemen bij grondwateroverlast

Bij grondwateroverlast treden een aantal problemen op. Iedereen kan grondwateroverlast anders ervaren. Daarnaast bestaat er onduidelijkheid over de verantwoordelijkheid van de diverse actoren bij grondwateroverlast. Zoals naar voren kwam bij het opstellen van de definitie van grondwateroverlast (bijlage 3), gebruiken bewoners de term grondwateroverlast anders dan de verschillende overheden. De bewoners hebben vaak ook een andere beleving van de overlast. Hierop zal worden ingegaan in paragraaf 2.2.

In eerder uitgevoerde onderzoeken wordt bij de probleemanalyse een opsomming gegeven van de gevolgen van grondwateroverlast. Vaak wordt echter geen theoretische onderbouwing gegeven van de oorzaken en gevolgen van deze problemen. In de volgende paragrafen zal daarom de theoretische verklaring van een aantal problemen bij grondwateroverlast bekeken worden om later gewapend met die kennis tot een effectieve keuze van maatregelen te komen. In paragraaf 2.3 wordt ingegaan op de gezondheidsklachten en in paragraaf 2.4 op economische schade ten gevolge van hoge grondwaterstanden. Hierbij kan economische schade worden onderverdeeld in schade aan wegen, woningen, onbegaanbare tuinen en parken en slechte groeiomstandigheden voor groenvoorzieningen. Maar om beter inzicht op de problematiek te krijgen beginnen we dit hoofdstuk met een actoren- en belangenanalyse.

### 2.1 Actoren, belangen en verantwoordelijkheden

Er zijn verschillende actoren betrokken bij grondwateroverlast:

#### *Het Rijk*

De rol van het Rijk met betrekking tot het stedelijke grondwaterbeheer komt aan bod in de *Nota Waterhuishouding*. De *Nota Waterhuishouding* wordt door de Ministers van Verkeer en Waterstaat (V&W), Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) en Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid (LNV) vastgesteld en is richtinggevend voor het Rijk, provincie, waterschappen en gemeenten. Het is een strategisch plan en geeft dus het landelijke waterhuishoudkundige beleid op hoofdlijnen weer. Het gaat hierbij vooral om de aanduiding van de belangrijkste functies van de waterhuishoudkundige systemen waarvoor het Rijk verantwoordelijk is en de gewenste ontwikkeling, werking en bescherming van de watersystemen.

#### *De provincie*

De provincie is verantwoordelijk voor het strategische kwantiteits- en kwaliteitsbeleid voor zowel grondwater als oppervlaktewater, met uitzondering van de rijkswateren. Dit beleid is vastgelegd in het *Provinciaal Waterhuishoudingsplan*. De provincie is 'slechts' passief grondwaterbeheerder, waaronder vooral de vergunningverlening voor en de registratie van onttrekkingen en infiltraties vallen. Dit is vastgelegd in de Grondwaterwet. Deze wet is expliciet niet van toepassing op het ont- en afwateren van gronden onder vrij verval, hoewel deze activiteiten wel invloed hebben op het peil van het grondwater. De provincie kan instanties die een vergunning hebben voor het onttrekken van grondwater niet verplichten grondwater te blijven onttrekken. Dit is relevant aangezien juist het stopzetten van onttrekkingen in de praktijk in stedelijk gebied regelmatig tot grondwateroverlast leidt.

#### *Het waterschap*

De waterschappen zijn functionele overheden, die staatsrechtelijk gezien nevensgeschikt zijn aan de gemeente. Er is dus geen sprake van een hiërarchische relatie tussen beiden. Het waterschap heeft geen actieve grondwaterbeheerstaken in het stedelijke gebied. Indirect oefent het waterschap hier wel invloed op uit door haar taak in de kwantitatieve beheersing van het oppervlaktewater. Ondanks het ontbreken van een formele rol, moet het waterschap het peil

van het onder hun beheer staande waterstelsel zodanig bewaken, dat niet alleen het oppervlaktewaterpeil, maar met name ook het grondwaterpeil is toegesneden op de functie (bestemming) van de omgeving. De Wet op de Waterhuishouding omvat alleen het kwantiteitsbeheer van het oppervlaktewater en biedt dan ook alleen hiervoor juridische instrumenten. Via het peilbesluit is beïnvloeding van de grondwaterstanden juridisch gekaderd.

Een van de instrumenten om het nieuwe waterbeleid voor de 21<sup>ste</sup> eeuw vorm te geven is de watertoets. De watertoets is het hele proces van vroegtijdig informeren, adviseren, afwegen en uiteindelijk beoordelen van waterhuishoudkundige aspecten in ruimtelijke plannen en besluiten. Het doel van de watertoets is waarborgen dat waterhuishoudkundige doelstellingen expliciet en op een evenwichtige wijze in beschouwing worden genomen bij alle waterhuishoudkundige relevante ruimtelijke plannen en besluiten.

#### *De gemeente*

In de gemeentewet zijn geen specifieke waterstaatsaken opgenomen. De gemeente heeft de in de Wet Milieubeheer vastgelegde zorgplicht voor doelmatige inzameling en transport van afvalwater en overtollig hemelwater. De ontwatering is voor het stedelijke gebied nog niet wettelijk geregeld. Wel staat het de gemeente vrij om zich deze zaak aan te trekken (autonomie van de gemeente). Ook op basis van andere wetgeving heeft de gemeente nog geen formele taak in het grondwaterbeheer. In de rapportage van de Commissie Integraal Waterbeheer (CIW) wordt echter wel geadviseerd dat de gemeente de zorg krijgt, daar waar andere maatregelen falen, voor doelmatige inzameling en afvoer van overtollig grondwater op de perceelsgrens (bijlage 4). Op dit moment wordt gewerkt aan een Wet Gemeentelijke Watertaken, waarin dit advies verankerd wordt. In dit onderzoek wordt aangenomen dat de gemeente de taak voor doelmatige inzameling en afvoer van overtollig grondwater, de zogenaamde zorgplicht, heeft, conform het CIW-advies.

#### *De perceeleigenaar*

De perceeleigenaar is in eerste instantie verantwoordelijk voor de grondwaterstand op zijn eigen terrein. Dus zijn de gemeenten in eerste instantie verantwoordelijk voor de grondwaterstanden op het openbare terrein en zijn woningbouwverenigingen als grondeigenaar verantwoordelijk voor de grondwaterbeheersing onder haar huurwoningen. In onderstaande tabellen worden de verantwoordelijkheden en belangen van de verschillende actoren samengevat.

Tabel 1: Verantwoordelijkheden actoren

|                        | <b>Verantwoordelijkheid</b>                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rijk</b>            | Zorg dragen voor een goede veilige leefomgeving.                                                                                                                                                                          |
| <b>Provincie</b>       | Strategisch kwantiteits- en kwaliteitsbeleid voor grondwater.                                                                                                                                                             |
| <b>Waterschap</b>      | Indirect oefent het waterschap invloed uit op grondwaterstanden door zijn verantwoordelijkheid voor de kwantitatieve beheersing van het oppervlaktewater.                                                                 |
| <b>Gemeente</b>        | Zorgplicht voor doelmatige inzameling en afvoer van afvalwater, na invoering van de Wet Gemeentelijke Watertaken ook de zorgplicht voor de doelmatige inzameling en afvoer van overtollig grondwater op de perceelsgrens. |
| <b>Perceeleigenaar</b> | Eigen verantwoordelijkheid op het eigen perceel.                                                                                                                                                                          |

Tabel 2: Belangen van actoren

|                        | Belang                                                                                                                 |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rijk</b>            | Oplossen van het complexe probleem, creëren van een goede leefomgeving voor de burger. Vasthouden, bergen, afvoeren.   |
| <b>Provincie</b>       | De eventuele maatregelen mogen de aanpak van de verdroging niet in gevaar brengen.                                     |
| <b>Waterschap</b>      | Zo min mogelijk regenwater en drainage water richting de RWZI, dit maakt de RWZI namelijk minder efficiënt en duurder. |
| <b>Gemeente</b>        | Geen overlast op het openbare en particuliere terrein.                                                                 |
| <b>Perceeleigenaar</b> | Geen grondwateroverlast op het eigen perceel.                                                                          |

## 2.2 Perceptie bewoners

De manier waarop iemand grondwateroverlast ervaart, verschilt nogal eens van de objectieve vaststelling van de wateroverlast. Bewoners klagen over overlast en benoemen die overlast als grondwateroverlast, terwijl de gemeente de genoemde klachten niet onder grondwateroverlast schaaft. Een voorbeeld hiervan is de volgende situatie. De gemeente is door middel van een peilbuizen netwerk op de hoogte van de grondwaterstanden in de gehele gemeente. Aan de hand van deze gegevens kan de gemeente inschatten of er sprake zou kunnen zijn van grondwateroverlast in bepaalde gebieden. Vaak krijgt de gemeente echter ook klachten uit gebieden van waaruit zij géén overlast verwacht. Dit heeft in een aantal gevallen te maken met de perceptie van de bewoners (Hagen, Gemeente Den Haag, 20-8-2004).

### 2.2.1 Aspecten die de perceptie beïnvloeden

Een aantal aspecten kunnen de perceptie beïnvloeden:

- Zijn de bewoners gedwongen in het probleemgebied te gaan wonen of zijn ze er vrijwillig gaan wonen. Hadden de bewoners een keuze? En waren ze vooraf al op de hoogte van de mogelijke problemen?
- Zijn er voordelen verbonden voor de burger aan het wonen in het probleemgebied?
- Hoeveel media-aandacht wordt er aan het probleem besteed?
- Hebben de bewoners vertrouwen in de lokale overheid?
- Komen de bewoners openlijk uit voor hun problematiek?
- Is duidelijk wat de betrokken partijen onder grondwateroverlast verstaan? Stemmen die beelden overeen?
- Invloed van de omgeving.

Bij een aantal van deze aspecten kunnen een aantal voorbeelden van situaties worden gegeven die tijdens interviews en de literatuur studie zijn aangetroffen.

#### *Voordelen van het wonen in een probleemgebied*

Al 20 jaar is Piet aan het procederen tegen verschillende overheden. Vastberaden probeert hij de overheden zo ver te krijgen maatregelen tegen de grondwateroverlast te nemen. Uit zijn verhalen wordt duidelijk dat hij en zijn wijk te maken hebben met ernstige overlast die in de toekomst, zonder extra maatregelen, nog erger zal worden. Toch heeft Piet het huis van zijn burens gekocht toen deze gingen verhuizen, terwijl hij toch op de hoogte was van de grondwateroverlast. Waarschijnlijk wegen de nadelen van de overlast niet op tegen de vele voordelen van het wonen in deze wijk dicht bij het centrum van de stad.

#### *Problemen grondwateronderlast en grondwateroverlast vanuit gemeente Dordrecht*

Kees is een bewoner van een huis op houten palen in Dordrecht, waar sprake is van lage grondwaterstanden. Dit kan ervoor zorgen dat er ernstige schade optreedt aan zijn woning en dat zijn woning daardoor in waarde kan dalen. De oplossing wordt gevonden in het verhogen

van het grondwaterpeil. Dit zou kunnen resulteren in minder goed begaanbare tuinen en optrekkend vocht in zijn woning. Zou deze man gaan klagen over te hoge grondwaterstanden als hij zou weten dat deze situatie gezondheidsklachten kunnen veroorzaken?

*Is duidelijk wat partijen onder grondwateroverlast verstaat?*

Na het periodieke wateroverleg met de Gemeente Delft, raken de leden van een al twintig jaar actieve bewonersvereniging en iemand van een net opgerichte bewonersvereniging aan de praat. Deze persoon en zijn wijk hebben ernstige wateroverlast in de kelders. De andere bewoners vertellen hem echter dat het weinig zin heeft om bij de gemeente aan te kloppen met deze problemen. De gemeente ziet een natte kelder namelijk niet als grondwateroverlast. De persoon vertelt ons dat hij pas sinds een aantal weken met de “grondwateroverlast” bezig is. Hij heeft de rapportage van de CIW nog niet bekeken.

Op figuur 2.1 is “grondwateroverlast” te zien. Een aantal bewoners ter plaatse betreft de oorzaak van deze overstroomde straat bij de grondwateroverlast die heerst in de woonwijk. In figuur 2.2 zien we dezelfde straat. Nu wordt duidelijk dat de oorzaak van de overstroming niets met grondwateroverlast te maken heeft, maar met een slecht functionerende riolering. Omdat deze wijk wel degelijk kampt met grondwateroverlast, wordt elk “waterprobleem” gevat onder het kopje “grondwateroverlast”.



Figuur 2.1: Grondwateroverlast?



Figuur 2.2: Problemen met riolering

### 2.2.2 Bewonersverenigingen

Bewoners kunnen zich organiseren in bewonersverenigingen. Op deze manier kunnen zij meer invloed uitoefenen op de besluitvorming. Een probleem hierbij is dat de bewoners en de gemeente een andere definitie hanteren voor grondwateroverlast. Ook is het mogelijk dat de grondwaterproblemen in de wijk door de bewonersvereniging zo negatief naar voren worden gebracht dat de huizenprijs in het gebied kan dalen. De overlast in het gebied is echter niet voor elke woning even ernstig. De grondwaterproblemen worden overigens nauwelijks meer vermeld op de homepage van het Bewonersplatform Binnenstad Noord.

De bewonersvereniging in Den Haag, de Haagse Koepel, is opgericht om bewonersorganisaties en bewonersgroepen informatie en advies te geven. Op de homepage van de Haagse Koepel staat het volgende vermeld over grondwateroverlast:

*De bewoners zijn beter te overtuigen als de gemeente haar tot nu toe starre houding laat varen en de burger inzicht geeft in het denkproces, dat gaande is om tot een oplossing van het grondwaterprobleem te komen. Het gaat bij grondwaterproblemen niet in de eerste plaats om techniek, regels en vaste modellen, maar eerst en vooral om mensen. Mensen, die hun spullen in het water zien drijven en die meer willen horen van de gemeente dan dat de landelijke norm dat toestaat. Geen valse hoop, maar de bereidheid om samen met de daartoe geëigende instanties serieus te gaan werken aan een oplossing. En als die oplossing wat langer tijd vergt*

*zal de burger daar meer begrip voor hebben als de gemeente compassie en begrip toont voor de problemen van de burger en een oprechte welwillendheid om te werken aan een oplossing.*

Bovenstaande stelling is vaak niet te rijmen met de stelling van de meeste gemeenten. De gemeente ziet bijvoorbeeld water in kelders en souterrains niet als grondwateroverlast. Ze wil wel compassie tonen, maar kan vanwege het landelijke beleid en gebrek aan financiële middelen niet meewerken aan het vinden van een oplossing voor de problematiek. Dit komt vooral doordat de gemeente de financiële verantwoordelijkheid niet kan nemen.

De CIW adviseert gemeenten een loket te openen waar de burger duidelijkheid over grondwateroverlast en mogelijke maatregelen kan krijgen. Tevens zou er een folder met informatie dienen te komen. Daarmee kan de perceptie van de overlast bij de burger minder negatief worden.

### 2.3 Gezondheidsklachten bij vochtige woningen

In diverse rapporten over grondwateroverlast wordt melding gemaakt van gezondheidsklachten bij te hoge grondwaterstanden. De meeste van deze rapporten verwijzen vaak naar andere rapporten. Hieronder wordt per onderzoek het onderwerp gezondheidsklachten in relatie met vochtige woningen belicht. Hierna zal een conclusie worden gegeven over de relatie tussen vochtige woningen en gezondheidsklachten.

*Grondwaterproblemen in de woonomgeving (Beenen, 1992)*

Beenen (1992) verwijst in zijn onderzoek direct naar het praktijkonderzoek van Fisscher & Verhoef (1989). Uit dit onderzoek heeft Beenen onderstaande tabel overgenomen.

Tabel 3: Gemelde gezondheidsklachten in relatie tot vochtige woningen (Fisscher & Verhoeff, 1989)

| LUCHTWEGKLACHTEN                                                                                       |       |         |                 |       |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|-----------------|-------|---------|
| Percentages optredende klachten bij volwassenen en kinderen in droge respectievelijk vochtige woningen |       |         |                 |       |         |
| VOLWASSENEN                                                                                            | DROOG | VOCHTIG | KINDEREN        | DROOG | VOCHTIG |
| Hoesten                                                                                                | 8.5   | 25.7    | Hoest ochtend   | 10.3  | 25.0    |
| Slijm ophoesten                                                                                        | 11.9  | 21.1    | Hoest dag/nacht | 16.7  | 43.2    |
| Kortademigheid                                                                                         | 17.2  | 25.4    | Kortademigheid  | 3.3   | 5.4     |
| Piepen                                                                                                 | 25.4  | 21.1    | Piepen          | 3.3   | 29.7    |
| Astma                                                                                                  | 10.2  | 15.5    | Loopneus        | 16.7  | 48.6    |
| Allergie                                                                                               | 5.1   | 9.9     | Astma           | 0.0   | 2.7     |
| Tevreden                                                                                               | 87.9  | 77.6    | Bronchitis      | 6.7   | 18.9    |
|                                                                                                        |       |         | Longontsteking  | 3.3   | 16.2    |
|                                                                                                        |       |         | Allergie        | 6.7   | 24.3    |
| Cara-totaal                                                                                            | 22.4  | 36.6    | Cara-totaal     | 17.2  | 61.1    |

Uit tabel 3 blijkt dat volwassenen die in een vochtige woning wonen, anderhalf keer zoveel cara-totaal klachten hebben, in vergelijking met volwassenen die in een droge woning wonen. Bij kinderen is dit drieëneenhalf keer zoveel.

Cara-totaal is een zogenaamde symptoomcombinatie die is opgebouwd uit de klachten “slijm ophoesten”, “last van kortademigheid” en “aanvallen van benauwdheid”.

Cara is de verzamelnaam voor een aantal ziekten van de luchtwegen. De belangrijkste ziekten zijn astma, chronische bronchitis en longemfyseem. Astma veroorzaakt vooral aanvallen van benauwdheid. Chronische bronchitis is een aandoening van het slijmvlies in de luchtwegen.



Mensen met bronchitis hebben last van hoesten en van het ophoesten van slijm. Longemfyseem is de oorzaak van kortademigheid. Sinds een aantal jaren is de term cara vervangen door COPD, wat staat voor chronic obstructive pulmonary desease, een chronische obstructie van de luchtwegen.

Fisscher & Verhoeff (1989) nuanceren de uitkomsten van tabel 3. Zij stellen dat er in hun onderzoek sprake kan zijn van een responder bias. Hiermee bedoelen zij dat de personen die de vragenlijst hebben ingevuld, op de hoogte geweest kunnen zijn van een eventuele relatie tussen gezondheidsklachten en vochtige woningen. Ook is het onderzoek in een kleine groep uitgevoerd, waardoor het onderzoek niet als representatief kan worden aangemerkt. Wel stellen zij vast dat hetgeen beschreven is in tabel 3 met eerder gehouden onderzoeken overeenkomt.

Beenen (1992) stelt dat vocht in woningen meerdere oorzaken kan hebben: slechte ventilatie, bewonersgedrag, doorslaand vocht, optrekkend vocht en te hoge grondwaterstanden. Niet alle vochtoverlast is een gevolg van grondwater. In een woning wordt bijvoorbeeld veel vocht geproduceerd. In tabel 4 staat de mogelijke vochtproductie in een woning aangegeven. Slechte ventilatie kan dus zeker tot vochtoverlast leiden.

Tabel 4: Vochtproductie in een woning (Adan e.a., 2000)

|                               | Gemiddelde waterdampproductie                                                                                            |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ademen/transpireren           | Lichte activiteit 30 – 60 g/uur/pers.<br>Gem. activiteit 120 – 200 g/uur/pers.<br>Zware activiteit 200 – 300 g/uur/pers. |
| Huisdier                      | 10 – 15 g/uur                                                                                                            |
| Koken (afhankelijk afzuigkap) | 600 – 1500 g/uur                                                                                                         |
| Afwassen                      | 500 – 1000 g/uur                                                                                                         |
| Gebruik badkamer              | Douchen 2500 – 3000 g/uur<br>Baden 750 g/uur                                                                             |
| Drogen van wasgoed (4,5 kg)   | Gecentrifugeerd 50 – 200 g/uur<br>Nat (druipend) 100 – 500 g/uur                                                         |
| Branden van een kaars         | 25 g/uur                                                                                                                 |
| Planten                       | 5 – 20 g/uur                                                                                                             |
| Open geisers                  | Keuken 25 g/uur<br>Keuken en douchen 100 g/uur                                                                           |
| Aquarium                      | 4 - 15 g/uur                                                                                                             |

GGD Rotterdam (2004)

Habets van GGD Rotterdam en omstreken schrijft in een schriftelijke reactie op de vraag over de relatie tussen gezondheidsklachten en grondwateroverlast het volgende:

*Algemeen geldt dat er geen directe relatie is tussen vochtige woningen en gezondheidsklachten. Het wordt meer als comfortprobleem gezien. Wel is het zo dat in een vochtige woning meer huisstofmijten voorkomen en de kans op schimmelvorming groter is. Zowel de uitwerpselen van huisstofmijten als de aanwezigheid van schimmels kunnen allergieën veroorzaken. Een eenmaal ontwikkelde allergie gaat gepaard met gezondheidsklachten als een loopneus en tranende ogen. Bewoners met allergisch astma kunnen door een allergische reactie een astma-aanval krijgen en dan dus last krijgen van hoesten, piepen en een moeilijke ademhaling. Bewoners die niet allergisch zijn voor huisstofmijten of schimmels hebben in principe niet meer klachten in een vochtige woning dan in een droge woning. Bovendien kunnen mensen die nog niet allergisch zijn, allergisch worden. Dit zal sneller gebeuren in een omgeving met hoge blootstelling (veel huisstofmijten of schimmels) dan in een omgeving met lage blootstelling.*

Habets baseert dit op een aantal onderzoeken. In [bijlage 5](#) staat haar complete schriftelijke reactie opgenomen met de door haar aangeraden literatuur. Het valt op dat zij geen directe relatie onderkent tussen vochtige woningen en gezondheidsklachten, terwijl zij tegelijk een aantal significante relaties omschrijft tussen vocht en gezondheidsklachten. Gegeven de verwachting dat 10-15% van de bevolking last heeft van cara lijkt een indirecte relatie dus zeker aanwezig.

#### *Samen leven met grondwater (CIW, 2004)*

De projectgroep adviseert om prioriteit te geven aan grondwaterproblemen die leiden tot gezondheidsklachten. Naast problemen met de gebruiksfunctie (bewoonbaarheid), kunnen zich onder omstandigheden ook gezondheidsproblemen voordoen. Zowel de bewoonbaarheid van het land, als de bevordering van de volksgezondheid zijn zaken die de overheid zich aan moet trekken, overigens zonder in de taken en verantwoordelijkheden van de individuele burger te treden (CIW, 2004). Dit raakt artikel 21 van de Grondwet: *De zorg van de overheid is gericht op de bewoonbaarheid van het land en de bescherming en verbetering van het leefmilieu*. In het rapport van de CIW wordt echter geen bron vermeld bij de opmerking over de gezondheidsklachten.

#### *Binnenmilieu-kwaliteit: Ventilatie en vochtigheid (Van Veen e.a., 2001)*

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) heeft in 2001 het rapport *Ventilatie en vochtigheid* uitgebracht. Bij kinderen is een verband tussen luchtwegklachten en vochtige of schimmelplekken in huis duidelijk en vaker waargenomen dan bij volwassenen. Bij hen wordt het verband niet vertekend door roken, ander ongezond gedrag of door beroepsziekten. Bij kinderen neemt de kans op astmaklachten in vochtige woningen met een factor anderhalf tot drieëneenhalf toe. Bij volwassenen is een wat geringere toename gezien met een factor anderhalf à twee. Het grootste gedeelte van de vochtproblemen in een woning hangt samen met de staat van onderhoud. Verhoudingsgewijs komen de meeste vochtproblemen voor in oudere meergezinswoningen. Een correlatie kan gevonden worden met bouwjaarklasse en het type woning. Deze correlatie wordt overigens in het rapport niet verder uitgewerkt.

#### *Nota aanpak grondwateroverlast Gemeente Dordrecht (Stadswerken Dordrecht, 2003)*

Deze nota stelt voor de uitvoeringspraktijk die sinds 1987 (Nota Grondwaterproblematiek in samenhang met Riolerings, 1987) is vastgesteld te handhaven. Dit houdt in dat het aanbrengen van drainage in openbare gronden bij grondwateroverlast tegelijkertijd met het uitvoeren van groot onderhoud in de openbare ruimte (rioolvervanging) dient plaats te vinden. Ook in het rapport van de CIW *Samen leven met grondwater* (2004) wordt deze werkwijze bevestigd. Uitsluitend indien er aanwijzingen zijn dat de grondwateroverlast voor gezondheidsproblemen zorgt, worden eerder maatregelen getroffen. De opmerking over de gezondheidsklachten in de nota van Gemeente Dordrecht is enigszins vaag. Het is voor een burger niet eenvoudig om aan te tonen dat grondwateroverlast de oorzaak is van zijn gezondheidsklachten. Zo is het niet duidelijk of een burger dezelfde klachten ook in een niet-vochtige woning zou hebben gehad.

#### *Handboek Vocht en Ventilatie (Adan e.a., 2000)*

In het *Handboek Vocht en Ventilatie* van TNO wordt ruim aandacht besteed aan de gezondheidsklachten bij mensen door vochtige woningen. Hierin worden onderstaande gezondheidseffecten genoemd als gevolg van blootstelling aan te vochtige omstandigheden in het binnenmilieu:

- Sensibilisatie van het immuunsysteem;
- Allergische klachten als gevolg van blootstelling aan allergenen;
- Hyperreactiviteitsreacties (overgevoelighedsreacties), veelal in relatie met emissies van chemische gentia.
- Reumatische klachten worden ook wel in verband gebracht met vocht.

In bijlage 6 is een verdere specificatie van de gezondheidsklachten opgenomen.

### *Conclusie*

Na het bestuderen van de bovenstaande literatuur is het aannemelijk geworden dat een relatie tussen vochtige woningen en gezondheidsklachten aanwezig is. De uitgevoerde onderzoeken zijn echter verricht naar vochtige woningen in het algemeen. Hier is dus nog geen onderscheid gemaakt naar de oorzaken van de vochtige woning. Maar grondwateroverlast zal in veel gevallen significant bijdragen aan de vochtoverlast in een woning.

Om de ernst van de gezondheidsklachten ten gevolge van grondwateroverlast aan te tonen, zou een uitgebreid onderzoek uitgevoerd kunnen worden naar gezondheidsklachten ten gevolge van hoge grondwaterstanden. Ook zou het interessant zijn om te bepalen hoeveel procent van de huishoudens die kampen met grondwateroverlast, ook gezondheidsklachten hebben. Aan de hand van deze gegevens zou een schatting gemaakt kunnen worden van de kosten van de gezondheidszorg ten gevolge van grondwateroverlast. Die kosten lopen namelijk snel op als we bijvoorbeeld de economische schade van zieke kinderen mee gaan nemen in de berekeningen.

## **2.4 Economische schade**

Hoge grondwaterstanden kunnen grote financiële schade aan het openbare terrein en aan particulier bezit veroorzaken. Particulier bezit kan ernstige schade ondervinden door bijvoorbeeld aantasting van houten balken en houten vloeren in de woning. Op het openbare terrein kunnen hoge grondwaterstanden leiden tot extra onderhoud aan wegen of tot omvallende bomen met alle schade van dien. In de volgende paragrafen komen deze onderwerpen aan de orde.

### **2.4.1 Schade aan woningen**

De schade die grondwater kan berokkenen in en om de woning heeft betrekking op de volgende aspecten:

- Rottende vloerbalken;
- Vochtplekken op de muur;
- Hygroscopische zouten in de muur;
- Afbladderend pleisterwerk;
- Schimmelvorming;
- Natte en onbegaanbare tuinen.

In hoofdstuk 3 worden deze problemen en de processen die de overlast veroorzaken verder beschreven.

Zoals in de inleiding vermeld wordt, is de schade aan woningen als gevolg van grondwateroverlast aanzienlijk. Dit zorgt ervoor dat de verkoopprijs van huizen die te maken hebben met grondwateroverlast lager ligt. Een vrouw, die samen met haar man een huis aan het verbouwen is in een wijk met grondwateroverlast, vertelt in een interview (24-9-2004) dat zij het huis van de buurvrouw hebben gekocht ruim onder de vraagprijs. De reden van het lagere bod is dat zij uit eigen ervaring op de hoogte waren van de eventuele schade die het grondwater kan hebben aangericht in de woning. Na een bouwkundige keuring werd het lagere bod aanvaard en kon begonnen worden met het verwijderen van de oude verrotte vloer en de aanleg van een betonnen vloer.

Zoals eerder al genoemd werd, is het lastig om de gevolgschade voor de bewoners in beeld te brengen. De gevolgschade kan bijvoorbeeld bestaan uit een waardedaling van een woning of uit restauratiekosten van de aangetaste woning. Om een beter beeld te krijgen van de omvang van de kosten voor woningeigenaren bij grondwateroverlast, wordt aangeraden een vervolgstudie uit te voeren naar de gevolgschade.



#### 2.4.2 Schade aan wegen

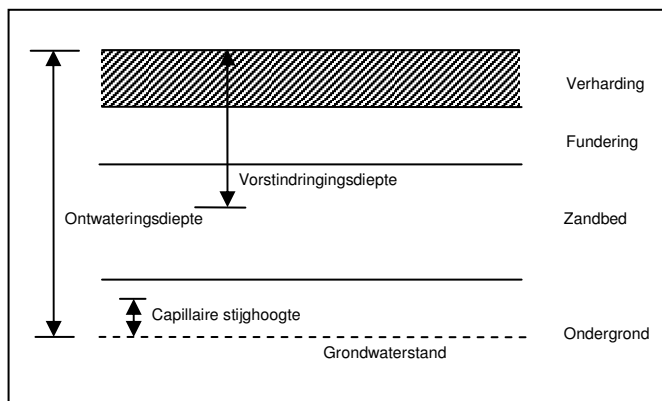
In veel onderzoeken wordt de relatie tussen hoge grondwaterstanden en extra onderhoud aan wegen benadrukt zonder de theoretische achtergrond achter deze relatie te geven. De relatie tussen de hoge grondwaterstanden en extra schade aan wegen wordt in deze paragraaf onderzocht. De oorzaken van schade aan wegen door hoge grondwaterstanden zijn:

- Opdooi en opvriezen;
- Vochtgevoeligheid (verlies aan draagkracht) van het materiaal dat zich in en onder de wegfundering bevindt (onderbouw).

Deze oorzaken worden hieronder verder beschreven.

##### *Opvriezen en opdooien*

In figuur 2.3 wordt het opvries mechanisme verduidelijkt. Zolang het vorstfront geen contact heeft met het capillaire grondwater is er weinig kans op opvriezen en opdooien.



Figuur 2.3: Relatie tussen ontwateringsdiepte en opvriezen

Wanneer in de bodem sprake is van ijsvorming, wordt vanuit het onbevoren gedeelte water aangevoerd naar het vorstfront om te bevriezen. Als dit proces lang genoeg aanhoudt, hoopt zich een grote hoeveelheid ijs op in de bodem in de vorm van ijslenzen. Hierdoor wordt de bovenliggende constructie omhoog gedrukt. Dit proces wordt opvriezen genoemd. Het ijs in de bodem kan tijdens de dooi ook schade aanrichten. Door de ijsophoping zijn de zandkorrels plaatselijk uit elkaar gedrukt en dit betekent verlies aan draagkracht. Het ijs verandert door de dooi in een overvloed aan water. Doordat het dooiproces vanaf boven inzet, verhinderen de dieper gelegen bevroren grondlagen dat het dooiwater kan wegzakken. Boven de bevroren grondlagen bevindt zich in de dooiperiode dan een ontdooiende laag met een overmaat aan water en derhalve een geringe draagkracht. Zware verkeersbelasting kunnen dan ernstige schade toebrengen aan de wegverharding. In extreme gevallen bezwijkt de constructie, dit wordt opdooischade genoemd. Uit het zojuist beschreven mechanisme en een extra toelichting in [bijlage 7](#) kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

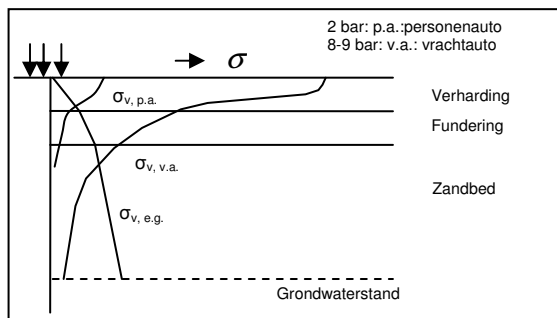
- In grofkorrelige gronden (zand, steenfunderingsmateriaal) is de kans op opvriezen erg gering. Er is sprake van weinig contact tussen het water in de verschillende poriën.
- Naarmate de grondwaterstand in fijnkorrelige gronden hoger komt te liggen neemt de kans op opvriezen toe.
- Gronden met een slechte waterdoorlatendheid, zoals keileem en zware kleigronden, vertonen weinig neiging tot opvriezen. Het water stroomt slechts langzaam toe, waardoor de 0 graden Celsius isotherm relatief snel omlaag gaat (de warmte onttrekking is groter dan de warmte toevoer door het toegestroomde grondwater) waardoor weinig ijslensvorming optreedt.

- Naarmate de capillaire stijghoogte van het grondwater hoger ligt ten opzichte van het ijsfront, zal meer opvriezen kunnen plaatsvinden.
- Hoe groter de bovenbelasting, des te kleiner het opvrieseffect.
- Voor het voorkomen van extra schade aan wegen door een te hoge grondwaterstand is het toepassen van grof zand in het wegcunet noodzakelijk.

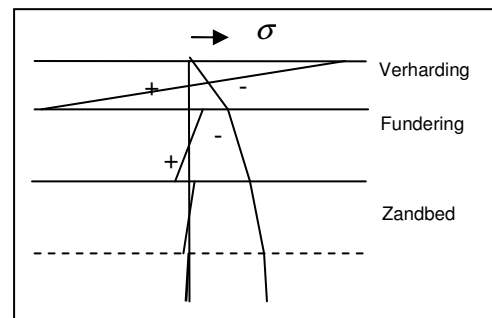
#### Vochtgevoelige onderbouw

Een materiaal wordt vochtgevoelig genoemd als het draagvermogen afhankelijk is van het vochtgehalte. Een hoger vochtgehalte heeft dan een vermindering van het draagvermogen als gevolg. Fijn zand en zand met een hoge leemfractie blijken hiervoor gevoelig te zijn. Het teruglopen van de inwendige wrijvingscoëfficiënt ten gevolge van gedeeltelijke verweking en “smering” door de leemfractie zijn hiervan de oorzaken. Bij de aanwezigheid van vochtgevoelig zand is er kans op het optreden van schade. Daarnaast is uiteraard vocht nodig. Vooral in de herfst en in de winter wordt aan deze voorwaarde voldaan. Een hoge grondwaterstand draagt hier dus aan bij. Het is dan ook zaak, in de onderbouw van bijvoorbeeld wegen, parkeerterreinen en opritten de toepassing van vochtgevoelig materiaal te vermijden. De mogelijk optredende schade lijkt veel op die ten gevolge van opdooi. Ook hier is bij beton- of asfaltverhardingen, scheurvorming in combinatie met spoorvorming mogelijk, die meer of minder uitgebreid kan zijn. Als niet tijdig en regelmatig onderhoud wordt gepleegd in de vorm van het dichten van de (doorgaande) scheuren of een oppervlakbehandeling, dan kan in een volgende natte periode het probleem verergeren doordat nu meer regenwater in de onderbouw doordringt waardoor de kans op schade verder toeneemt.

In onderstaande figuren worden de verticale en horizontale verkeerslastspanningen in grafieken weergegeven.



Figuur 2.4: Verticale eigengewicht (e.g.) en verkeerslastspanningen in het hart van band.



Figuur 2.5: Horizontale eigengewichtspanningen en verkeerslastspanningen in het hart van de band.

Aangenomen wordt dat de horizontale spanning van het eigengewicht gelijk is aan de verticale eigengewicht spanning ( $\sigma_{H,e.g.} \approx \sigma_{V,e.g.}$ ). De horizontale spanning ten gevolge van de verkeerslastspanning onder de verharding is klein ( $\sigma_{H,p.a./v.a.}$ ). De grootste afname van de verkeerslastspanningen vindt plaats in het meest stijve materiaal, dat is normaalgesproken de verharding. Naar beneden toe worden de materialen normaal gesproken lichter.

De maximaal te mobiliseren schuifweerstand in grond is onder meer afhankelijk van de grootte van de samendrukkende belasting op de grond, de waterspanningen en de snelheid van belasten. In het algemeen wordt de maximale schuifsterkte van grond beschreven met het lineaire verband volgens Mohr-Coulomb. Voor niet of gedeeltelijk gedraineerde omstandigheden wordt dit bezwijkcriterium in aangepast vorm toegepast. Het bezwijkcriterium van Mohr – Coulomb:

$$\tau_{\max} = c' + \sigma'_n \tan(\phi')$$

Waarin:

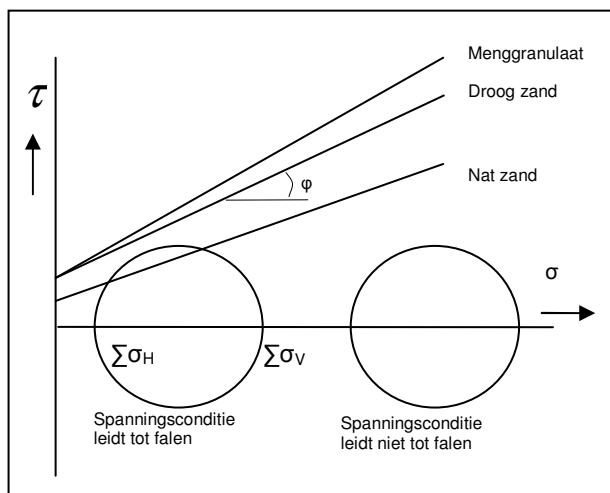
$\tau_{\max}$ : Maximaal te mobiliseren schuifweerstand in schuifvlak ( $\text{kN/m}^2$ )

$c'$ : Cohesie; schuifweerstand bij afwezigheid van normaalspanning ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma'_n$ : Normaalkorrelspanning op schuifvlak ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi'$ : Hoek van inwendige wrijving, hellingshoek van in figuur geschetste verband ( $^\circ$ )

In figuur 2.6 wordt de som van de horizontale verkeerslastspanningen en de eigengewichtspanningen (kleinste hoofdspanning) uitgezet op de horizontale as. Dit gebeurt ook met de verticale spanningen (grootste hoofdspanning). In dezelfde figuur is ook te zien dat vochtig zand een lagere afschuifweerstand heeft dan droog zand en dus ook gevoeliger is voor schade.



Figuur 2.6: Mohr-Coulomb

#### Relatie theorie-praktijk

In een onderzoek van Dirksen, *Oriënterend onderzoek naar de relatie tussen schade aan wegen en de ontwateringsdiepte* (1991), wordt aan de hand van een praktijk onderzoek, gekeken of de theorie overeenkomt met de praktijk. De gemeenten Utrecht, Rotterdam, Den Haag, Gouda, Uden, De Ronde Venen en Zaandam hebben aan het praktijk onderzoek meegewerkt door het invullen van een enquête. Uit deze enquête blijkt dat de vorstschade vooral veroorzaakt wordt door scheuren in het wegdek. Scheurvorming wordt in het onderzoek beschouwd als achterstallig onderhoud. Opgemerkt dient te worden dat deze scheurvorming ook kan optreden door draagkrachtverlies als gevolg van hoge grondwaterstanden.

In het onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen wegen met een gesloten wegdek en wegen die een gebarsten wegdek hebben. Bij een ontwateringsdiepte van 30 à 40 cm treedt bij een gesloten wegdek nauwelijks tot geen vorstschade op. Als het ophoogzand niet aan de eisen van de Standaard RAW Bepalingen voldoet kan er wel schade optreden. Bij een niet gesloten wegdek is de kans op schade groter.

### Conclusie

In Nederland zijn sinds de winter van 1978-1979 geen lange perioden van vorst geweest. In extreme gevallen, bijvoorbeeld de winter van 1962-1963, varieert de vorstindringing van circa 0,7 m in het zuidwesten van Nederland tot circa 1,0 m in het noordoosten. Voor de ontwateringsdiepte dient onderscheid gemaakt te worden tussen primaire wegen, secundaire wegen en tertiaire wegen. Dit vanwege het verschil in belasting van deze type wegen en het economische belang ervan. Schade aan belangrijke verkeerswegen mag niet optreden.

### 2.4.3 Schade aan groenvoorzieningen

Naar de juiste groeimogelijkheden voor groen is veel onderzoek gedaan. Bij de Gemeente Amsterdam bijvoorbeeld wordt speciaal aandacht besteed aan de oude stadsparken die te maken hebben met te hoge grondwaterstanden. De theorie met betrekking tot de slechte groeiomstandigheden voor groenvoorzieningen zal in deze laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden toegelicht.

#### Tuinen en parken

De onbegaanbaarheid van tuinen en parken kan worden veroorzaakt door hoge grondwaterstanden, maar ook door bijvoorbeeld schijngrondwaterspiegels bij hevige regenval. Schijngrondwaterspiegels ontstaan door slecht doorlatende lagen boven de grondwaterspiegel. Bij intensieve regenbuien en een beperkte bergingsmogelijkheid in de bodem, kan het water niet naar het verzadigde grondwater afstromen. Dit veroorzaakt plassen en een drassige tuin. Door hoge waterstanden wordt de zuurstof in de bodem vervangen door water. Zuurstof is essentieel voor de groei van planten. Na vierentwintig uur zonder zuurstof kunnen de wortels van planten afsterven. Verder overleven aërobe bacteriën niet in te natte omgeving. Aërobe bacteriën zijn van belang voor een goede vruchtbare bodem. Het Ingenieursbureau Amsterdam heeft dan ook in 1992 een onderzoek naar hoge grondwaterstanden en openbaar groen gedaan: *Beplanting in relatie met een hoge grondwaterstand*. In dat onderzoek wordt geconcludeerd dat:

- Grondwater een van de factoren is die de groeiomstandigheden van de het groen in de stad beïnvloedt;
- In stedelijk gebied de boom misschien wel het belangrijkste element is, de boom is echter ook erg kwetsbaar;
- Een fluctuerende grondwaterstand slecht is voor de groei van de wortels van de bomen;
- De optimale grondwaterstand voor veel boomsoorten is 1,2-1,5 m onder maaiveld;
- De minimale ontwateringsdiepte ongeveer 80 cm onder het maaiveld is;
- Een slecht groeiende boombeplanting ten gevolge van hoge grondwaterstanden grote problemen oplevert voor het beheer van de verharding en de leidingen;
- Stijgende grondwaterstanden erg ongunstig zijn voor de begroeiing;
- Bij aanleg van nieuwe bomen voldoende wortelruimte aanwezig moet zijn (tabel 5).

Tabel 5: Benodigde wortelruimte (Ingenieursbureau Amsterdam, 1992)

| Grootte                                               | Doorwortelbaar volume [m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 <sup>e</sup> grootte, bomen met een hoogte > 12 m   | 20 – 85                                 |
| 2 <sup>e</sup> grootte, bomen met een hoogte 6 – 12 m | 6 – 15                                  |
| 3 <sup>e</sup> grootte, bomen met een hoogte < 6 m    | Circa 5                                 |

### Conclusie

Een te hoge grondwaterstand zorgt voor slechte groeiomstandigheden voor groenvoorzieningen. Niet elke beplanting heeft dezelfde groeiomstandigheden nodig. In onderstaande tabel staan de minimale ontwateringsdiepte voor een aantal groenvoorzieningen opgenomen.

Tabel 6: Minimale diepte van de wortelzone of de toelaatbare grondwaterhoogte in het groeiseizoen voor verschillende typen stedelijke vegetatie (Van de Ven, 2004).

| <b>Zand</b>                                     |          | <b>Klei</b>                                        |           |
|-------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| Grijze els, wilg, zilveren spar, berk, populier | 40-50 cm | Grijze els, wilg, zilveren spar                    | 40-50 cm  |
| Es, esdoorn, Amerikaanse eik, Europese lariks   | 51-70 cm | Berk, populier, es                                 | 51-70 cm  |
| Iep, linde, beuk                                | 71-90 cm | Esdoorn, Amerikaans eik, den, iep, Europese lariks | 71-90 cm  |
|                                                 |          | Linde, beuk                                        | 91-110 cm |

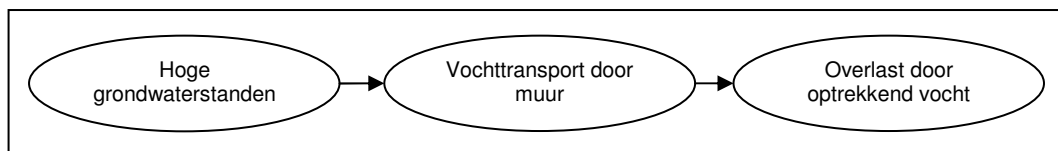


### 3 Vochtoverlast in de woning

In dit hoofdstuk wordt de grondwateroverlast die een perceeleigenaar ervaart bekeken en ook worden de mogelijke maatregelen bekeken. Bij grondwateroverlast kan sprake zijn van twee verschillende systemen die de overlast veroorzaken: optrekkend vocht en vochttransport vanuit de kruipruimte de woning in. Aan de hand van deze systemen kunnen maatregelen tegen grondwateroverlast worden gegenereerd. De maatregelen worden per systeem uitgebreid beschreven.

#### 3.1 Systeem optrekkend vocht

In deze paragraaf wordt het systeem van optrekkend vocht beschreven. Het vochttransportsysteem wordt geschematiseerd in figuur 3.1. Elk van deze vlakken kan worden beïnvloed door bepaalde factoren.



Figuur 3.1: Proces optrekkend vocht

##### 3.1.1 Factoren die grondwaterstanden beïnvloeden

In dit schema worden alleen hoge grondwaterstanden gezien als de oorzaak van optrekkend vocht in de muur. Optrekkend vocht als gevolg van bijvoorbeeld lekkages worden buiten beschouwing gelaten. Hoge grondwaterstanden kunnen worden veroorzaakt door onderstaande factoren:

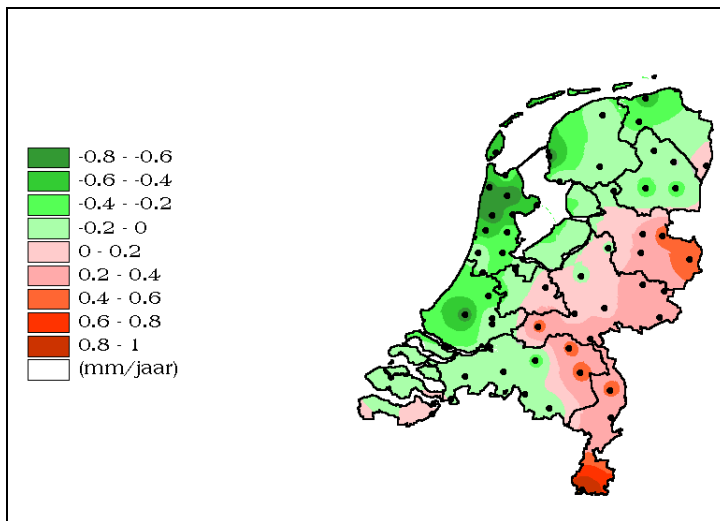
- Het vervangen van een lekke riolering;
- De tektonische kanteling van Nederland;
- De inklinking van de bodem;
- Het stopzetten van grondwateronttrekkingen;
- Ondergrondse bouwwerken;
- Meer neerslag;
- Slecht bouw- en woonrijp maken;
- Het dempen van afwateringskanalen;
- Oppervlaktewaterpeil.

##### *Vervangen van lekke riolering*

Rioleringen kunnen na een aantal jaren een drainerende werking krijgen. Door zettingen kan het grondwater via de verschoven verbindingen het riool binnendringen. Bij vervanging van deze riolering verdwijnt de infiltrerende werking. Hierdoor kunnen de grondwaterstanden stijgen. Gemeenten, de verantwoordelijke instantie voor de riolering, doen nu, voordat de riolering wordt vervangen, onderzoek naar de drainerende werking van de riolering. Als de riolering een drainerende werking heeft, wordt bij vervanging van de riolering een drainagesysteem aangelegd.

##### *Tektonische bodemdaling van Nederland*

Uit figuur 3.2 blijkt Nederland een kantelende beweging ondergaat, dalend in het noorden en westen, stijgend in het oosten en zuiden. De snelheid van de tektonische bodemdaling bedraagt maximaal acht centimeter per eeuw. De as van kanteling ligt langs de lijn Breda-Amersfoort-Emmen. Nederland ligt al zestig miljoen jaar in de randzone van het dalende Noordzeebekken. Het gevolg hiervan is dat het maaiveld daalt en de grondwaterstand dus stijgt.



Figuur 3.2: Vertikale bewegingen Pleistoceen bepaald uit waterpassingen over ondergrondse merken van het NAP (RWS Meetkundige Dienst, 1997)

#### *Inklinking van de bodem*

Klei- en veenlagen zullen inklinken waardoor het maaiveld zal dalen. De mate van maaiveldddaling wordt bepaald door de verlaging van de grondwaterstand en door de bodemopbouw. Veen is het meest gevoelig voor peilverlagingen, schoon zand bijna niet.

#### *Stopzetten grondwateronttrekkingen*

Door het stopzetten van grondwateronttrekkingen kunnen de grondwaterstanden stijgen. De Gemeente Wassenaar en Eindhoven hebben dit al ondervonden. In andere steden, zoals Delft en Hengelo, zijn er bedrijven die de grondwateronttrekkingen verminderen of zelfs willen beëindigen. In Gemeente Delft kan het beëindigen van de onttrekking van DSM Gist plaatselijk leiden tot een stijging van 50 cm (Gemeente Delft, 2005). Het volgende krantenartikel geeft een illustratie van de effecten van het stopzetten van grondwateronttrekkingen:

*Sinds tien jaar begint het besparingsbeleid vruchten af te werpen. Op diverse plaatsen in Nederland zelfs met spectaculair resultaat. Want de grondwaterstand is dermate gestegen dat niet alleen de natuur buiten profiteert. Ook schimmels in ondergelopen kelders en kruipruimten tieren welig. En grondwatervocht trekt op door vloeren en muren. Bijvoorbeeld in Woensel, een noordelijk stadsdeel van de gemeente Eindhoven. Philips pompte daar vanaf de jaren zestig vier miljoen kubieke meter per jaar op. Ofwel 125 liter per seconde. 'Deze hoeveelheid daalde in het begin van de jaren negentig tot 2,2 miljoen kuub', zegt ir. Frank van Swol, programmaleider water van de gemeente Eindhoven. 'Enkele jaren geleden kondigde Philips aan productietaken af te stoten en om te schakelen op milieuvriendelijke koeltechnieken als warmte-koude-opslag. Ze wilden daarom de grondwaterkraan helemaal dichtdraaien.' Dergelijk voortvarend milieubeleid was Van Swol al te dol. Hij overlegt een kaartje waarop de te verwachten grondwaterstijging is aangegeven als Philips geheel stopt met grondwaterwinning. 'In bijna een kwart van het grondgebied van Eindhoven stijgt het grondwaterpeil, tot meer dan tweeënhalve meter in Woensel. Meer dan zestigduizend inwoners dreigen in de problemen te komen. We willen wateroverlast voorkomen', zegt Van Swol.*

*De kwestie met Philips staat niet op zichzelf. Op veel plaatsen in Nederland openbaart zich deze onvoorziene keerzijde van succesvol anti-verdrogingsbeleid. 'Philips heeft in feite decennialang als een gemaal voor de omgeving gefunctioneerd. De gehele ruimtelijke inrichting van het gebied is daarop geënt', zegt ir. Hugo Gastkemper, directeur van Rioned, de organisatie*



van de rioolbranche. Volgende week donderdag komt het probleem aan de orde op de Rioned-dag, een jaarlijks evenement over riolering en water in de stad.

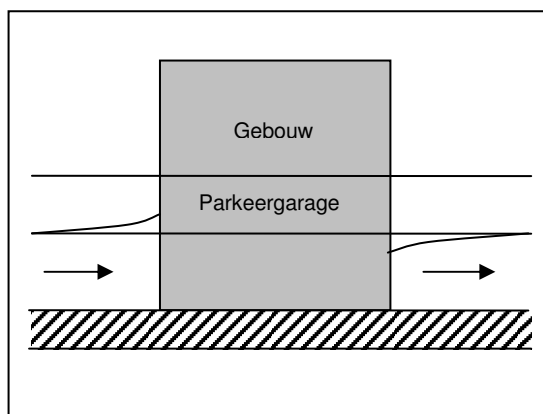
Ook in Hengelo dreigen natte voeten, als gevolg van waterbesparing bij bierbrouwer Grolsch. En sinds waterbedrijven in Noord-Holland hun drinkwater niet meer in de Kennemerduinen infiltreren en onttrekken, maar deels uit oppervlaktewater winnen, kampen steden als Heemstede, Haarlem, Bloemendaal en Velsen met stijgend grondwater. Uit een schatting van het ministerie van Verkeer en Waterstaat blijkt dat circa 250 duizend woningen al last hebben of te maken krijgen met problemen door het wassende grondwater (De Volkskrant, 31 januari 2004).

#### Ondergrondse constructie

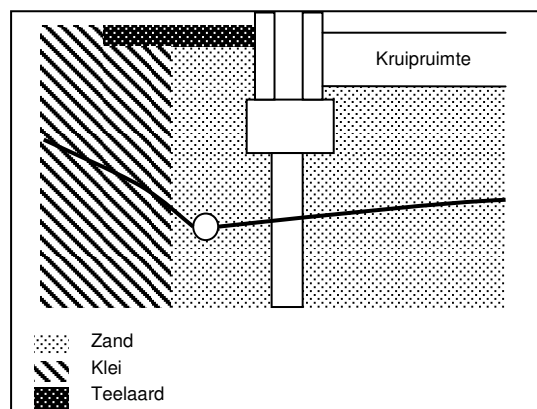
Een ondergrondse constructie kan de grondwaterstroming blokkeren en zorgen voor opstuwung van het grondwater aan de bovenstroomse kant van de constructie. Aan de benedenstroomse zijde kan de grondwaterstand dalen, hetgeen grondwateronderlast kan veroorzaken (figuur 3.3). Een ondergrondse constructie kan de aanwezige berging van de bodem verminderen. Hierdoor kan bij neerslag de grondwaterstand sneller en hoger stijgen.

#### Klimaatverandering

Door klimaatverandering zullen neerslagpatronen veranderen en kunnen grotere variaties in grondwaterstanden optreden.



Figuur 3.3: Invloed ondergronds bouwen op grondwaterstanden (Werkgoep Grondwateroverlast Wassenaar, 2002)

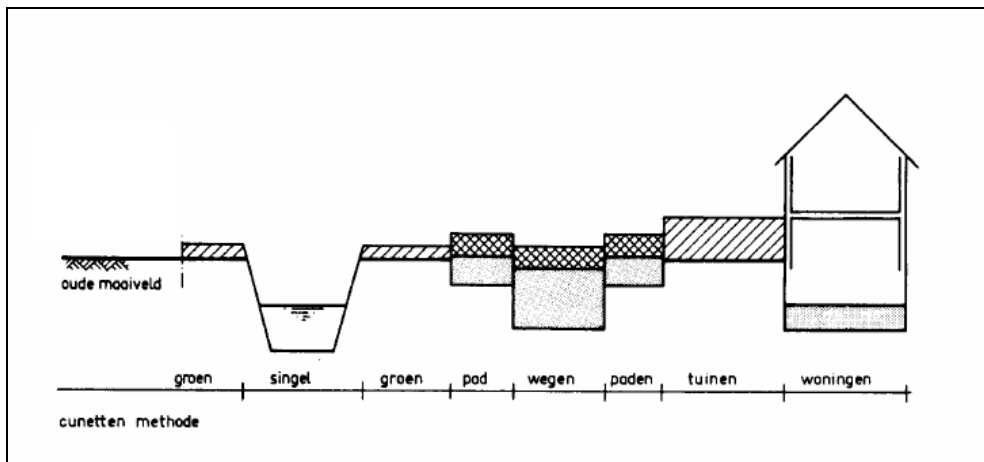


Figuur 3.4: Ringdrainage

#### Slecht bouw- en woonrijp maken

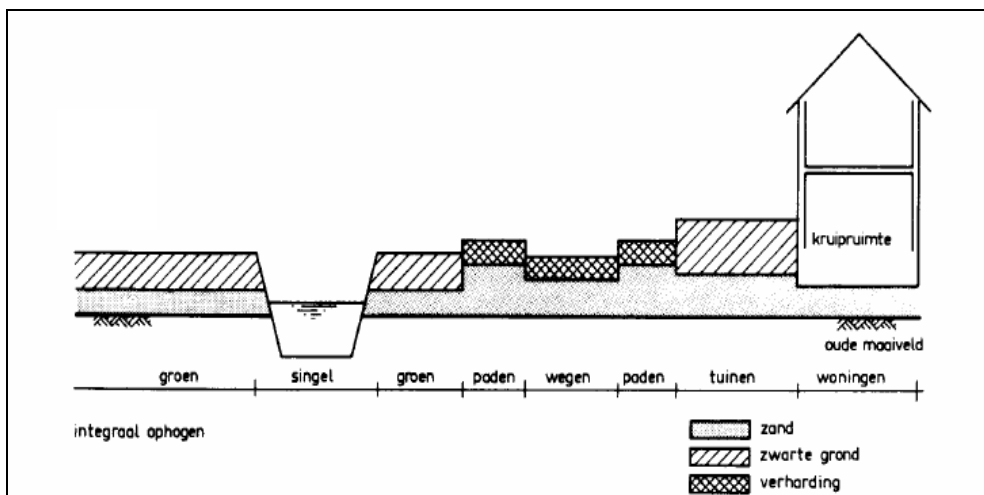
Voor het bouw- en woonrijp maken van terreinen worden drie methoden in Nederland gebruikt: de cunetten methode, integraal ophogen en een combinatie van integraal ophogen en de cunettenmethode en partieel ophogen. Bij de cunettenmethode (figuur 3.5) wordt zand aangebracht onder de verhardingen en in de kruipruimte. De rioleringssleuf wordt vaak (gedeeltelijk) gevuld met zand en sloten worden veelal gedempt. De tuinen en het openbaar groen worden opgehoogd met 'zwarte grond'. Deze grond wordt ontgraven uit de wegcunetten, de kruipruimten, de singels of wordt van buiten het gebied aangevoerd. Bij de woningen wordt ringdrainage aangelegd (figuur 3.4).

Het doel van de drainage rond de woningen is het toestromende grondwater vanuit het minder doorlatende pakket van "zwarte" grond af te voeren en te zorgen voor een voldoende ontwatering van het perceel. Op het moment dat de drainage faalt, zal de grondwaterstand stijgen, met eventueel een natte kruipruimte als gevolg.



Figuur 3.5: Cunettenmethoden (SBR (1984) in Biron, 2004)

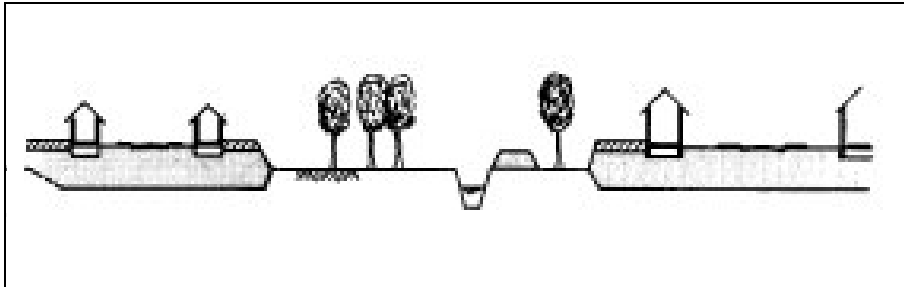
Onder integraal ophogen (figuur 3.6) wordt over het algemeen het aanbrengen van een laag zand over het gehele terrein verstaan. Deze maatregel wordt onder andere getroffen om een goed begaanbaar, draagkrachtig en droog bouwterrein te realiseren. De minimale laagdikte bedraagt 0,70 meter. Een laagdikte van zand van 50 cm is voldoende voor een goed draagkrachtig terrein, mits deze laag voldoende ontwaterd is. Door spoorvorming tijdens de bouwphase, zal het bijna onmogelijk zijn deze laagdikte te handhaven. Daarom wordt aangenomen dat de minimum laagdikte minimaal 0,70 meter moet zijn. Om aan de ontwateringsdiepte te voldoen, zal bij deze ophoging drainage aangebracht moeten worden. Bij foutieve aanleg van de drainage is het mogelijk dat de gewenste ontwateringsdiepte niet meer wordt behaald en grondwateroverlast optreedt. In sommige gevallen is de drainage aangelegd door de uitvoerders om de bouwplaats tijdens de bouw droog te houden. Integrale ophoging wordt meestal uitgevoerd door opspuiting, maar wordt ook soms uitgevoerd door middel van vervoer per as.



Figuur 3.6: Integraal ophogen (SBR (1984) in Biron, 2004)

Een tussenvorm van de hierboven beschreven technieken is de partiële ophoging. Dit is een combinatie van integrale ophoging en de cunettenmethode (figuur 3.7). Overal op het

bouwterrein wordt zand aangebracht behalve in toekomstige grotere groenstroken, waterpartijen en parken. Door het toepassen van deze methode kunnen ook bestaande elementen uit bestaande landschappen gespaard worden die anders (bij het toepassen van een integrale ophoging) verloren waren gegaan.



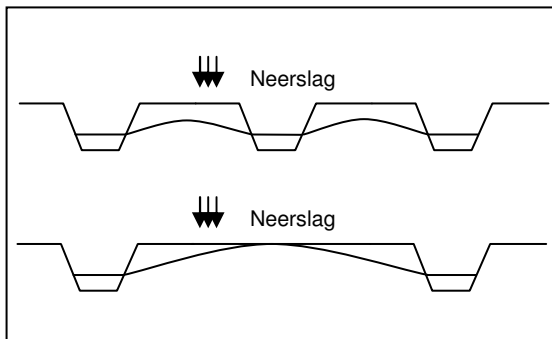
Figuur 3.7: Partieel ophogen (SBR (1984) in Biron, 2004)

#### *Dempen van afwateringskanalen*

Door het dempen van grachten, sloten, beken en kanalen met een afwaterende functie kunnen grondwaterspiegels stijgen. Dit wordt geïllustreerd in figuur 3.8.

#### *Oppervlaktewaterpeil*

Grondwaterstanden zijn afhankelijk van oppervlaktewaterpeilen. Door het dempen van sloten zal de grondwaterstand stijgen. Indien geen neerslag valt zal de grondwaterstand door capillaire werking licht opbollen. In figuur 3.8 is te zien dat de grondwaterstand bij neerslag meer zal opbollen. Dit komt in een later stadium van het onderzoek terug.



Figuur 3.8: Demping van ontwateringsmiddelen

### **3.1.2 Factoren die het vochttransport door de muur beïnvloeden**

Als vocht eenmaal met de fundering in aanraking komt, zijn er een aantal factoren dat het vochttransport door de muur kan beïnvloeden:

- Capillaire werking van de poriën;
- Stromingsweerstand en verdamping aan het muuroppervlak;
- Homogeniteit van de muur;
- Oplosbare zouten in de muur;
- Soort fundering.

#### *Capillaire werking van de poriën*

De zuigkracht of capillaire werking is sterker naarmate de diameter van het capillair kleiner is. In kleinere capillaren zal het water daarom een grotere stijghoogte kunnen krijgen. Of dit

inderdaad gebeurt, hangt af van de snelheid waarmee het opgezogen water door het capillair stroomt. Anderzijds kan een bepaalde hoeveelheid water minder gemakkelijk binnen een bepaalde tijd door een nauw capillair stromen dan door een breed capillair. De stromingsweerstand van capillairen wordt groter naarmate de diameter van het capillair kleiner wordt. Normaal gesproken zal het poriënsysteem van de constructie in open verbinding staan met de omgevende lucht. Dit betekent dat er ook water uit de capillairen kan verdampen en de constructie dus droogt. Deze verdamping kan ervoor zorgen dat het water in de nauwe capillairen niet de tijd krijgt om tot grote hoogte opgezogen te worden. De stijghoogte van water in een capillair is dus afhankelijk van de doorsnede daarvan. Een vereenvoudigde formule voor de theoretisch mogelijke stijghoogte is:

$$h = \frac{15 \cdot 10^{-6}}{r}$$

h: Stijghoogte (m)

r: Capillairstraal (m)

Een beschouwing over de capillaire werking van de poriën komt terug in [bijlage 8](#). Met bovenstaande formule kan voor baksteen, met een gemiddelde poriediameter van ongeveer 1 µm, worden afgeleid dat de theoretische stijghoogte 15 m zal bedragen. In de praktijk blijkt de stijghoogte bij baksteen metselwerk meestal beperkt te blijven tot maximaal enkele meters (Van Hees & Koek, 1996).

#### *Stromingsweerstand en verdamping aan het muuroppervlak*

Capillair transport van water vindt ook in horizontale richting plaats, waardoor het vocht onder en aan het muuroppervlak verdampt (tenzij er een afsluitende laag aanwezig is). Naarmate de omgevingslucht droger is, treedt er meer verdamping op. In die zin kan ventilatie, gericht op het verlagen van de binnenluchtvochtigheid, invloed hebben op het vochttransport. De stromingsweerstand van de capillairen en de verdamping vanuit de capillairen beperken de stijghoogte.

#### *Homogeniteit van de muur*

Een bakstenen muur is niet homogeen: de eigenschappen van de muur zijn niet over de hele muur hetzelfde. Tussen de bakstenen zit nog mortel die invloed heeft op het optrekkende vocht. Vanwege het verschil in poriënstructuur, vormt de overgang tussen de mortel en de baksteen een barrière voor het optrekkende vocht. Het verschil in eigenschappen kan bij elke steen-mortelovergang een belemmering vormen voor het vochttransport. In sommige gevallen komt het zelfs voor dat optrekkend vocht vrijwel alleen via het voegensysteem plaatsvindt en een aanzienlijke hoogte bereikt, zonder dat de steen een bijdrage levert (Van Hees & Koek, 1996). Het volgende voorbeeld illustreert deze effecten.

*Twee buren op het Rietveld hebben in 1992 de gezamenlijke muur laten injecteren. Ook hebben zij de andere muren van hun woning laten injecteren. Bij de ene buurman heeft het injecteren duidelijk effect gehad. Bij de woning van de andere buurman, een voormalig pakhuis, is het injecteren minder goed geslaagd. Het pakhuis is gebouwd met diverse soorten bakstenen.*

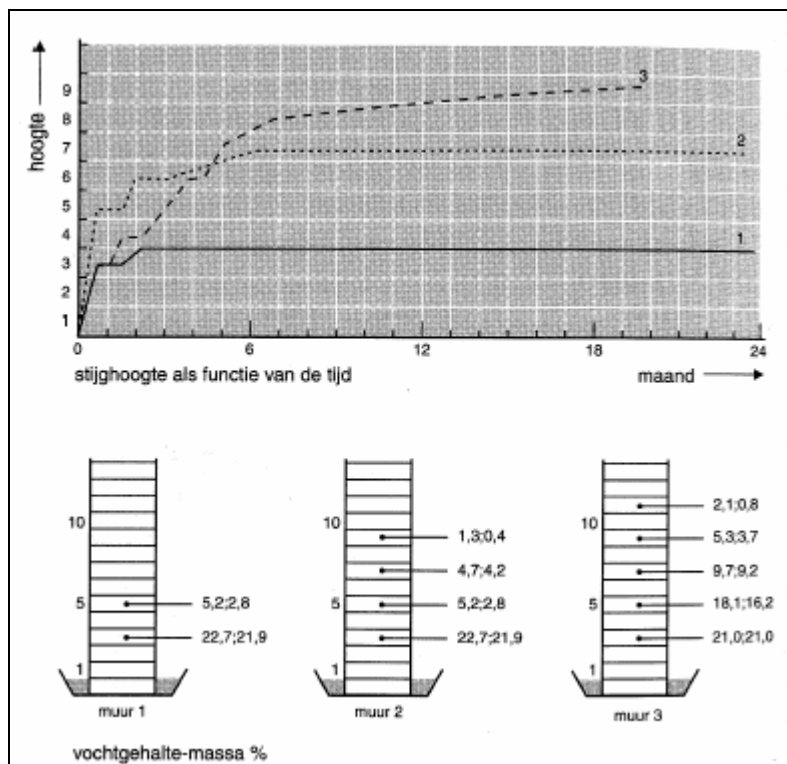
#### *Oplosbare zouten in de muur (hygroscopische zouten)*

Zouten in een muur kunnen het stijgproces versnellen en het grondwater hoger doen stijgen. De invloed van de zoutconcentratie van het grondwater op de stijghoogte in de capillairen, wordt aangetoond met een experiment, waarvan de resultaten worden getoond in figuur 3.9. Ook hebben zouten invloed op de mortel-steen barrière: de zouten kunnen ervoor zorgen dat deze barrière minder sterk wordt. Het capillaire water kan opgeloste zouten bevatten, afkomstig uit

steen of mortel, of meegevoerd met het grondwater. Zouten in constructies kunnen schade veroorzaken. Er worden twee typen schade onderscheiden:

- Bij uitbloeiverschijnselen en schade aan het materiaal kan het gaan om het afdrukken van lagen (pleisterlaag) of om verpulveren of verpoederen van het materiaal (pleister, baksteen, mortel).
- Sommige zouten kunnen na het verdampen van het aangevoerde water ook in een pleisterlaag of direct achter het behang achterblijven, zonder dat ze door kristallisatiedruk het materiaal verpulveren. Ze kunnen dan echter wel hygroscopisch gedrag vertonen. Als gevolg van het vermogen van zouten om vocht uit de lucht aan te trekken (hygroscopische gedrag, zoals bij het klonteren van keukenzout in het zoutvaatje) kunnen de in het materiaal achtergebleven zouten plaatselijk een hoger vochtgehalte veroorzaken. Dit vochtgehalte kan weer zorgen voor vochtplekken op de muur. Deze hygroscopische reactie van het materiaal is afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de lucht in de woning. Er is overigens voor de hygroscopische reactie nog een relatie tussen het soort zout en de relatieve vochtigheid.

Opgemerkt dient te worden dat zoutschade alleen optreedt in samenhang met optrekkend vocht. Vocht in muren kan echter ook worden veroorzaakt door doorslaand regenwater of door lekkages van bijvoorbeeld goten.



Figuur 3.9: De stijghoogte (aantal bakstenen) en de vochtverdeling in drie muren als functie van de tijd in maanden. De muren waren geplaatst in vaten met verschillende zoutconcentraties; muur 1 was de referentie zonder zouten (Van Hees & Koek, 1996).

#### Soort fundering

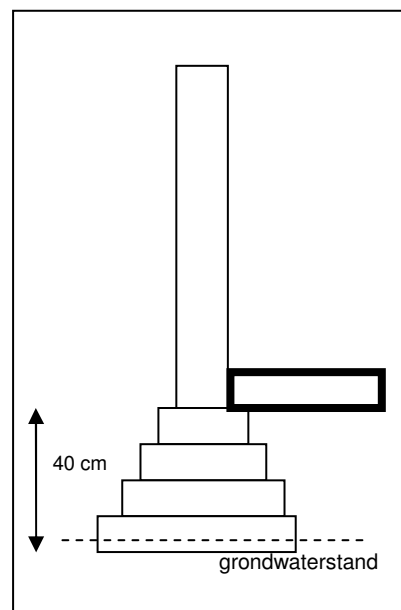
Een bakstenen fundering is veel gevoeliger voor optrekkend vocht dan een betonnen fundering. In dit afstudeeronderzoek wordt aangenomen dat in een betonnen fundering geen sprake kan

zijn van optrekkend vocht. De open structuur van de baksteen is de oorzaak van het optrekkende vocht. Wanneer de fundering van een muur zich in het capillaire grondwater bevindt, kan het bodemvocht in principe opgezogen worden door de muur (Van Hees & Koek, 1996).

In figuur 3.10 is te zien dat de gemetselde fundering van de woning niet erg diep is, ongeveer 40 à 60 centimeter onder het maaiveld. In de muur is geen trasraam opgenomen. Een trasraam is het onderste deel van een muur, gemetseld in een ondoorlatende steen. Een trasraam werd vroeger vaak toegepast om een muur te beschermen tegen optrekkend vocht. Bij sommige arbeiderswoningen werd dit achterwege gelaten vanwege de dure steen die gebruikt werd voor het trasraam. De bakstenen fundering in figuur 3.10 komt tijdens natte perioden in aanraking met het grondwater, hierdoor is de kans op optrekkend vocht erg groot is.



Figuur 3.10: Gemetselde fundering



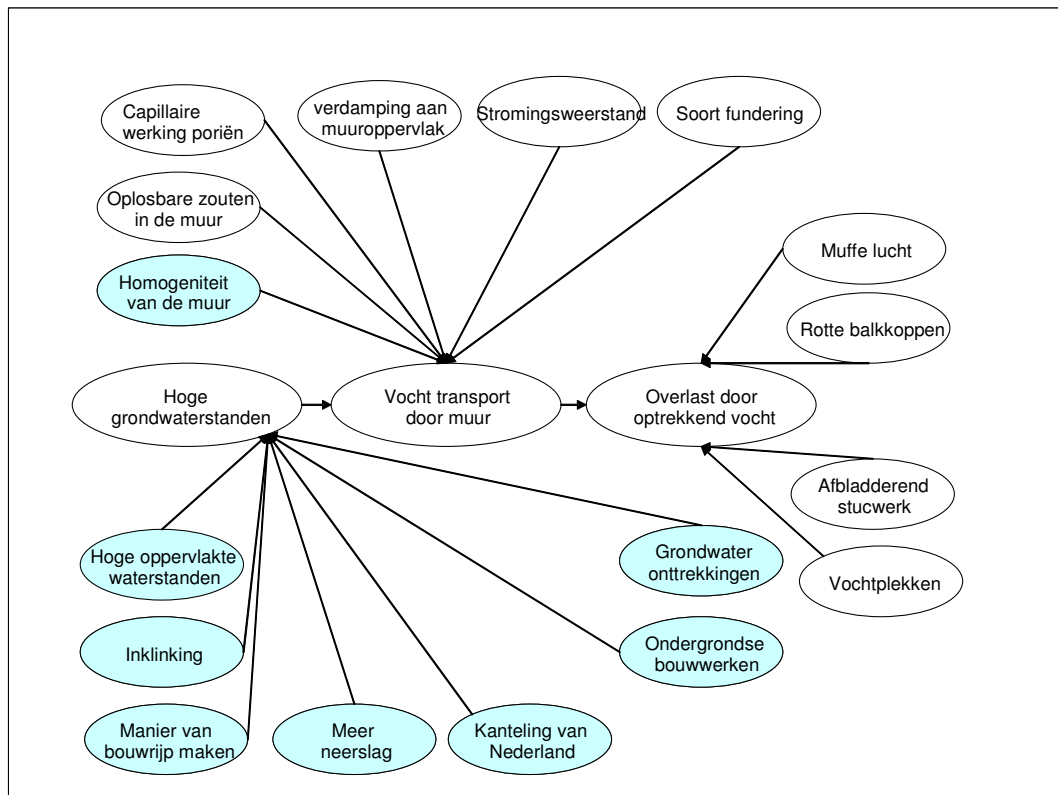
Figuur 3.11: Schets gemetselde fundering

### 3.1.3 Factoren waardoor bewoners overlast ervaren

Optrekkend vocht veroorzaakt overlast, die zich vooral uit in afbladderend stucwerk, rotte balken en vochtplekken. Zoals in hoofdstuk 2 besproken is, is de ernst van de overlast voor iedereen anders. Het zichtbaar zijn van de overlast en de schade aan de woning zijn factoren die de ernst van de overlast beïnvloeden.

### 3.1.4 Conclusie

De eerder genoemde factoren die invloed uitoefenen op het systeem van optrekkend vocht, worden samengevat in figuur 3.12. De gekleurde vlakken kunnen niet worden beïnvloed, deze vlakken worden de omgevingsfactoren genoemd.



Figuur 3.12: Systeem optrekkend vocht

### 3.2 Maatregelen tegen optrekkend vocht

Het systeem van optrekkend vocht is in bovenstaande paragraaf opgesplitst in de volgende processen: hoge grondwaterstanden, vochttransport door de muur en het ervaren van grondwateroverlast. Per proces zijn de factoren beschreven die invloed hebben op het proces. Voor het beschrijven van de maatregelen zal dezelfde indeling worden aangehouden als in bovenstaande paragraaf:

- Maatregelen tegen hoge grondwaterstanden;
- Maatregelen tegen vochttransport door de muur;
- Maatregelen om de gevolgen van de overlast te verminderen.

#### 3.2.1 Maatregelen tegen hoge grondwaterstanden

Door het verlagen van de grondwaterstand kan voorkomen worden dat het grondwater de kans krijgt om via de fundering de muur in te trekken. Alleen in een gemetselde fundering kan het grondwater optrekken. Veel woningen met een bakstenen fundering zijn echter ook gebouwd met een trasraam dat de muur tegen optrekkend vocht beschermt. Een trasraam wordt meestal aangelegd vlak onder en net boven het maaiveld. Het trasraam kan beschadigd zijn of kan uit kostenoverwegingen niet aangelegd zijn waardoor toch sprake kan zijn van optrekkend vocht.

De factoren die hoge grondwaterstanden kunnen veroorzaken, zijn meestal moeilijk te beïnvloeden. Vaak komen de hoge grondwaterstanden al van nature voor. De maatregelen die de bewoners kunnen uitvoeren om de grondwaterstand te verlagen zijn de volgende:

- Horizontale drainage op eigen perceel;
- Actief onttrekken van grondwater met een pomp;



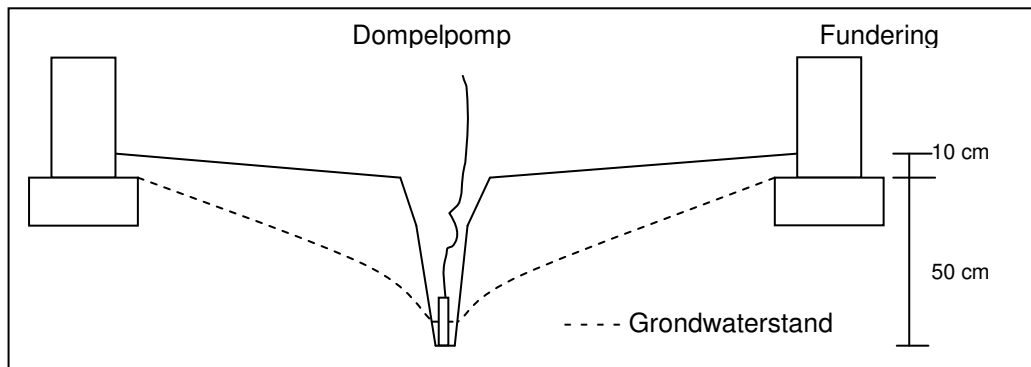
#### *Horizontale drainage*

Met behulp van een drainagesysteem kan de grondwaterstand worden verlaagd. Hierdoor bestaat minder kans op optrekkend vocht. Deze maatregel brengt wel een aantal risico's met zich mee. Houten funderingen kunnen droog vallen waardoor paalrot kan optreden. Ook kunnen verzakkingen optreden. Drainage kan ook juridische problemen opleveren. Bewoners sluiten vaak de drainage illegaal aan op de riolering. De meeste bewoners weten echter niet dat dit verboden is. Bij het aanleggen van drainage, vergeten bewoners vaak dat het drainagesysteem ook onderhoud nodig heeft. De bewoner is hier zelf verantwoordelijk voor.

De effectiviteit van het verlagen van de grondwaterstand voor het voorkomen van optrekkend vocht is lastig in te schatten. In ieder geval zullen de gevolgen van optrekkend vocht aanwezig blijven zolang het vocht nog niet uit de muur verdwenen is.

#### *Dompelpomp*

Door het plaatsen van een kleine pomp (dompelpomp) in de kruipruimte, kan de grondwaterstand onder de woning verlaagd worden. Dit brengt wel een risico met zich mee: een pomp kan zand aanzuigen waardoor de fundering van een gebouw ondermijnd kan worden. De invloed van een dompelpomp is niet eenvoudig in te schatten. Zo kan één bewoner, zonder daar weet van te hebben, de kruipruimte bij zijn burens droog houden. Bewoners die een dompelpomp gebruiken, graven in het midden van de kruipruimte een kuiltje. Het grondwater stroomt naar dit kuiltje en er ontstaat in het kuiltje een plas water. Met behulp van een dompelpomp kan dit water worden opgezogen en worden afgevoerd naar de riolering. Om optrekkend vocht tegen te gaan, moet de onderkant van de fundering zich boven de capillaire grondwaterstand bevinden. Niet altijd wordt deze ontwateringsdiepte bereikt. In figuur 3.13 wordt de werking van de dompelpomp geïllustreerd. In de figuur is ook het verloop van de grondwaterstand geschetst, te zien dat deze dompelpomp het optrekkend vocht niet kan tegenhouden. De fundering staat in de figuur namelijk nog steeds in het capillaire grondwater.



Figuur 3.13: Principe van de dompelpomp

Uit een interview met de heer Van Eijnsbergen van de Gemeente Dordrecht (november 2004), bleek dat de bewoners die een dompelpomp gebruiken om de kruipruimte droog te houden en het optrekkende vocht tegen te gaan, meestal geen weet hebben van de gevaren bij het gebruik van de dompelpomp. Ook weten ze niet dat het aansluiten van de pomp op het riool verboden is. Sommige bewoners hebben jaren lang met hun pomp de grondwaterstand in de omgeving verlaagd. Een aantal van de huizen in de omgeving was echter op houten palen gefundeerd. Doordat de houten paalkoppen zijn drooggevalen, zijn deze gaan rotten en zijn de woningen gaan verzakken.



### 3.2.2 Maatregelen tegen vochttransport door de muur

In deze paragraaf beschrijven we de maatregelen die het vochttransport door de muur verminderen of tegenhouden. De maatregelen kunnen worden opgedeeld in mechanische en chemische maatregelen.

#### *Mechanische onderbreking van het vochttransport*

Het vochttransport kan worden tegengegaan door een mechanisch, een onderbreking aan te brengen in de muur. Mechanische methoden zijn zeer arbeidsintensief. Het verwijderen van het metselwerk en dit vervangen door een soort van waterkering kost veel tijd. Op de markt zijn verschillende soorten waterkeringen te vinden. De in te brengen barrière kan bestaan uit platen van metaal, glas, beton, lei of kunststof. Het mechanisch onderbreken van het optrekkende vocht is wel een van de meest effectieve methoden. Het optrekkende vocht wordt namelijk tegengehouden door een geheel waterkerende laag. Het inbrengen van een barrière onderin een muur kan ervoor zorgen dat doorslaand vocht dat tegen een buitenmuur aan komt zich kan gaan ophopen boven de barrière. De barrière kan dus wel het probleem van optrekkend grondwater verhelpen, een nieuw probleem kan echter worden gecreëerd. Ook kunnen door een slechte uitvoering, scheuren ontstaan in de muren en constructies van het gebouw. De maatregel heeft wel ongeveer dezelfde levensduur als de woning. De barrière wordt aangebracht op maaiveldhoogte. Dit wordt gedaan omdat er onder het maaiveld moeilijk te werken is en er toch zo min mogelijk vocht omhoog gaat. De verschillende mechanische onderbrekingen zijn zeer bewerkelijke, en hierdoor ook dure, methoden. Hieronder worden de verschillende methoden toegelicht.

#### Loden slab

Bij het gebruik van deze methode wordt het metselwerk op maaiveldhoogte systematisch vervangen door een loden slab. Het metselwerk wordt deels of in zijn geheel verwijderd door middel van zagen of hakken. Vanwege de stabiliteit van de woning zal het metselwerk meter per meter worden verwijderd en worden vervangen door de loden slab.

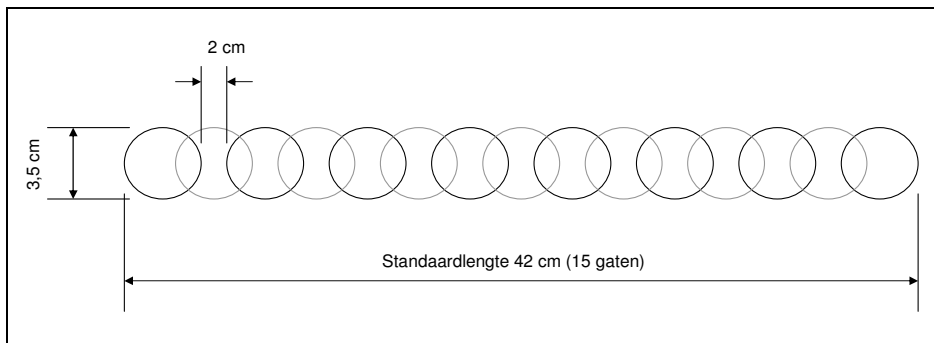
Uit een interview met het Bewonersoverleg Delft (januari 2005) blijkt dat het inbrengen van een mechanische kering niet altijd succesvol is. Bij het opknappen van een woning waar een vorige bewoner een loden slab aangebracht had, werd door onwetende aannemers over de loden slab heen gestuct. Door over de mechanische kering heen te stucen, kan het water via het stucwerk weer optrekken boven de waterkering (Van Hees & Koek, 1996).

#### Keggen methode

Bij deze methode wordt systematisch een laag metselwerk verwijderd. Hierna wordt een waterkerende laag, bijvoorbeeld een folie aangebracht. De verwijderde laag metselwerk wordt vervangen door een laag betonnen keggen die nauw op elkaar aansluiten. De voegen worden gevuld met een kunstharsgebonden mortel (Van Hees & Koek, 1996).

#### Boorkern methode

Bij de boorkern methode (zie ook figuur 3.14) wordt een gat met ongeveer een diameter van 4 cm geboord. Dit gat wordt opgevuld met een waterkerende mortel of een kunstharsmortel. Nadat de mortel gedroogd is, wordt een overlappend gat geboord, dat ook weer gevuld wordt met de kunstharsmortel (Van Hees & Koek, 1996).



Figuur 3.14: Boorkernen methode

#### Chroomstalen platen

De chroomstalen platen kunnen in een zachte mortel of zachte steen getrild worden. In Nederland kan deze methode nauwelijks gebruikt worden, omdat de woningen gebouwd zijn met een voor deze methode te harde mortel en steen. Deze methode is minder bewerkelijk dan bovenstaande methoden, omdat het metselwerk niet eerst verwijderd hoeft te worden (Van Hees & Koek, 1996).

#### Chemische middelen

Met behulp van chemische middelen is het mogelijk om op maaiveldhoogte een waterkering in de muur te brengen. Bij deze chemische middelen kan onderscheid gemaakt worden tussen porie vullende middelen en waterafstotende middelen. Bij het gebruik van chemische middelen dienen de volgende aspecten betrokken te worden:

- Penetratiediepte;
- Hardingsproces;
- Injecteren.

De penetratiediepte is gerelateerd aan de viscositeit van het chemische middel. Door het toevoegen van oplosmiddelen kan de viscositeit worden verlaagd, waardoor het middel eenvoudiger te injecteren is. Echter, door het toevoegen van oplosmiddelen kan wel de effectiviteit afnemen. Het is aan te raden het middel te testen op een proefmonster (interview met dhr. Witteman van de firma Dryworks). Bij dikkere muren heeft een lagere viscositeit het voordeel dat een goede penetratiediepte wordt bereikt. Het hardingsproces heeft invloed op de verspreiding en dus ook op de effectiviteit van het chemische middel. Het chemische middel moet niet te snel harden, omdat een te snel hardingsproces de effectieve spreiding van het chemische middel voorkomt.

De geïnjecteerde zones dienen elkaar te overlappen, om te voorkomen dat het vocht toch nog een weg naar boven kan vinden. Ook moet voorkomen worden dat het chemische middel weg kan stromen naar holle ruimten in de muur. Deze holle ruimten zouden van tevoren opgevuld kunnen worden met cement.

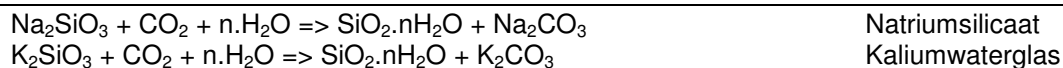
#### Porie vullende middelen

Bij dit systeem worden de poriën opgevuld met het chemische middel, waardoor geen vochttransport door de muur meer mogelijk is. De volgende chemische middelen zijn op de markt: silicaten, acryl-amide gels of gelerende silaan.

#### Silicaten

$\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (natriumsilicaat) en  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  (kaliumwaterglas), in een sterk alkalische oplossing, zijn de bekendste op waterglas gebaseerde chemische middelen. Het waterglas gaat een reactie aan met  $\text{CO}_2$  uit de lucht en vormt  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (silicagel). Deze reactie (zie onderstaande kader) in

de muur kan alleen plaatsvinden als er vrije calcium-ionen in de muur aanwezig zijn. Deze bevinden zich echter alleen in nieuwe mortel en in nieuw beton. De mortel en het beton in bestaande woningen beschikken echter niet over vrije calcium-ionen. Dit kan worden opgelost door kalkwater in de muur te brengen. De reactie veroorzaakt een daling van de pH. Tijdens de reactie kan, bij gebruik van  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , de voor metselwerk schadelijke stof  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (soda) gevormd worden. Het gebruik van  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ , in plaats van  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , wordt dan ook aangeraden. Uit het onderzoek van Hees en Koek (1996) blijkt echter dat dit nauwelijks effect heeft. Dit chemische middel blijkt ook na een tijd te krimpen en zo weer nieuwe poriën te creëren.



#### Acrylamide gels

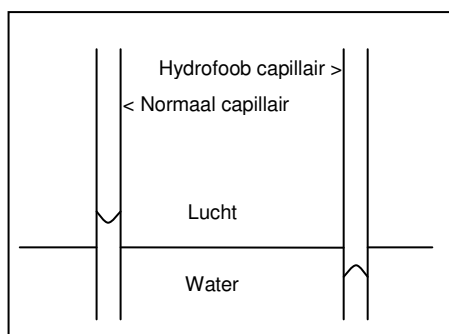
Bij deze chemische methode gaan twee giftige organische monomeren een reactie aan en vormen een niet giftige stof. De reactietijd van de twee monomeren kan worden beïnvloed door het gebruik van katalysatoren. Door het gebruik van katalysatoren kan de stof dus worden aangepast aan het type muur. De stof wordt onder druk geïnjecteerd. De afstand van de boorgaten kan ongeveer 40 cm bedragen. Bij deze methode is in de praktijk tot nog toe weinig resultaat bij gemetselde muren geboekt (Van Hees & Koek, 1996).

#### Gelerende silaan

Dit middel is een combinatie van porie vullende en waterafstotende middelen. Gelerende silaan wordt onder druk in de muur geïnjecteerd. De afstand tussen de boorgaten bedraagt ongeveer 10 à 15 cm. Het product heeft in de praktijk weinig resultaat behaald. In het laboratorium echter heeft het middel wel een redelijke werking (Van Hees & Koek, 1996).

#### Waterafstotende middelen

Bij waterafstotende (hydrofoberende) systemen worden de poriewanden waterafstotend gemaakt. Hierdoor zal het waterniveau in de capillairen lager liggen dan voor de injectie. Onder hydrofoberende middelen kan ook een middel worden verstaan dat op de muur wordt aangebracht om de verdamping te verminderen. Hydrofoberende middelen zijn niet bestand tegen hydrostatische druk. Dit betekent dat ze wel optrekkend vocht kunnen tegenhouden, maar bijvoorbeeld geen drukkend water.



Figuur 3.15: Werking hydrofoberende systemen (Van Hees & Koek., 1996)

#### Siliconenharsen

De groep van de siliconenharsen bestaat uit de volgende stoffen:

- Silanen (monomeer silicoon);
- Siloxanen (oligomeer silicoon);
- Polysiloxanen (polymeer silicoon).

Kleine moleculen (monomeer) kunnen de muur beter penetreren dan grote moleculen (polymeren). Omdat de moleculen zo groot zijn, wordt dit middel slecht opgenomen door de muur. Bij het gebruik van grote moleculen worden daarom de boorgaten dicht op elkaar gezet. De siliconenharsen worden beschouwd als flexibel, de stof kan namelijk worden aangepast aan het type muur.

In het onderzoek van Hees en Koek (1996) is alleen siloxaan bekeken. Dit middel wordt geïnjecteerd onder hydrostatische druk. Bij het praktijkonderzoek was het effect van siloxaan erg gering.

#### Siliconaten en combinaties van siliconaten en silicaten

Voor de injectie van deze middelen zijn water en alcohol de oplosmiddelen. Deze oplosmiddelen zijn milieuvriendelijker dan organische oplosmiddelen zoals terpentijn. Het middel wordt geïnjecteerd onder hydrostatische druk met een boorafstand van 5 à 7 cm. Voor de chemische reactie is een verlaging van de pH nodig, deze verlaging kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>. De vorming van soda is in dit geval minder ernstig dan wanneer soda gevormd wordt bij het gebruik van waterglas, omdat de soda ingesloten wordt door polysiloxaan. Bij dikkere muren, dat wil zeggen, muren dikker dan 50 cm, wordt een combinatie van silicaat en silica gebruikt. Dit middel is een van de enige middelen dat echt effectief is (Van Hees & Koek, 1996). Uitzondering hierop is het gebruik bij kalkzandsteen. De oorzaak hiervan ligt in de carbonatiegraad. Bij metselwerk zou van te voren deze carbonatiegraad bepaald kunnen worden, eventueel zou de muur een carbonatie behandeling kunnen krijgen. Kalkzandsteen kan echter geen carbonatie behandeling krijgen.

#### Stearaten

Stearaten hebben lange koolstofketens (grote moleculen) met Al, Sn, Ca of Ti. Lange koolstofketens verminderen de penetratiediepte. Gebruik wordt gemaakt van organische oplosmiddelen, zoals bijvoorbeeld terpentijn. Het middel wordt onder druk geïnjecteerd. Dit middel wordt op beperkte schaal toegepast in Nederland. Dit heeft vooral te maken met de geringe penetratiediepte. Voor zover bekend is nog geen onderzoek verricht naar dit middel (Van Hees & Koek, 1996).

#### Siliconenmicro-emulsie

Siliconenmicro-emulsie wordt onder hydrostatische druk geïnjecteerd. Dit gebeurt met behulp van voorraadvaatjes, zie figuur 3.16 en figuur 3.17. In de figuren is te zien dat niet alleen op maaiveldhoogte de muur geïnjecteerd wordt, maar ook op andere hoogten. Om een effectieve barrière te verkrijgen moet de barrière aaneengesloten zijn. Als er zich op maaiveldhoogte in de muur obstakels bevinden, wordt de injectie iets hoger geplaatst. In een laboratoriumonderzoek kwam het middel, toegepast op zowel baksteen als op kalkzandsteen, als bijzonder effectief naar voren (Van Hees & Koek, 1996).



Figuur 3.16: Injecteren van muur onder hydrostatische druk



Figuur 3.17: Niet alleen een horizontale waterkering

### Conclusie chemische systemen

Bij het toepassen van chemische middelen moet op de volgende zaken worden gelet:

- Er mag niet zonder meer worden uitgegaan van ervaringscijfers van leveranciers met betrekking tot de te injecteren hoeveelheid product; opbouw en samenstelling van een muurconstructie beïnvloeden de noodzakelijke dosis van het chemische middel, die nodig is voor een succesvolle behandeling;
- Scheuren of open ruimten in de muur moeten bekend zijn;
- Na het uitvoeren van de maatregelen dienen ook nevenmaatregelen genomen te worden. Nevenmaatregelen zijn nodig omdat de muur boven de waterkering nog vochtig is. Door middel van verwarming, ventilatie en het verwijderen van pleisterwerk kan de muur sneller drogen.

Tabel 7: Conclusie chemische middelen (Hees & Koek, 1996)

| Soort middel                                                                                                                                                                                                           | Oordeel (Hees & Koek, 1996)                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Porie vullende middelen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Silicaten</li> <li>▪ Acryl-amide gels</li> <li>▪ Gelerende silaan</li> </ul>                                                                          | Negatief<br>Negatief<br>Negatief<br>Negatief |
| Waterafstotende middelen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Siliconenharsen</li> <li>▪ Siliconaten en combinaties van siliconaten en silicaten</li> <li>▪ Stearaten</li> <li>▪ Siliconenmicro-emulsie</li> </ul> | Negatief<br>Negatief<br>Positief<br>Positief |

### Andere maatregelen tegen optrekkend vocht

Buiten de chemische en mechanische maatregelen zijn er ook nog een aantal maatregelen op de markt die niet in een van deze twee groepen ondergebracht kunnen worden. De volgende maatregelen komen aan bod:

- Waterafstotende verf;
- Electro-osmose;
- Droogpijpjes;
- Extra ventilatie in kruipruimte of woning;
- Voorzetwanden.

#### Waterafstotende verf

Door het gebruik van een waterafstotende verf worden de buitenste poriën van de muur hydrofoob maakt. Door het voorkomen van de verdamping van het water uit de muur, zal er geen sprake meer kunnen zijn van zoutuitbloei en vochtplekken. Het nadeel van deze maatregel, is dat het vocht hoger kan optrekken in de muur en hierdoor dus ook vochtiger wordt. Dit systeem wordt gezien als symptoombestrijding.

#### Electro-osmose

Bij electro-osmose wordt geprobeerd het water in de muur naar beneden te laten stromen door een potentiaal verschil aan te brengen over de muur. Deze stroming zal de opwaartse beweging van het optrekkende vocht compenseren. Volgens TNO werkt dit systeem niet. Volgens Van Gaanderen en Groot, die onderzoek hebben gedaan naar electro-osmose, is een fijne porositeit vereist voor het op gang brengen van de neerwaartse stroming.

#### Droogpijpjes

Het systeem van de droogpijpjes heeft als doel de vochtafvoer uit de muur te bevorderen. De vochtaanvoer wordt echter niet verminderd. Deze methode wordt niet gezien als een geschikte maatregel. Uit het onderzoek van de SBR, *optrekkend vocht*, blijkt dat dit systeem een twijfelachtige werking heeft. Het kan zelfs negatieve effecten hebben doordat er oppervlakte condensatie kan optreden.

#### Ventilatie

Het ventileren van een woning zorgt voor een goed klimaat in de woning. Echter wanneer er in een woning sprake is van een constante aanvoer van vocht uit de kruipruimte of muur, is ventilatie alleen niet voldoende. Men zal extra maatregelen moeten treffen. Ventileren is echter wel noodzakelijk na het nemen van dergelijke maatregelen. Het optrekkende vocht wordt door de maatregelen wel tegengehouden, maar het water dat boven de waterkerende laag in de muur zit, moet nog wel verdampen. Het bevorderen van de verdamping van vocht uit de muur kan door middel van ventilatie, maar ook door het verwarmen van de woning en door meer specialistische maatregelen, zoals het gebruik van een vacuümtechniek of speciale verwarmingselementen die op de muur geplaatst kunnen worden.

In figuur 3.18 en figuur 3.19 is een voorbeeld te zien van het aanbrengen van ventilatiegaten in de voorgevel van een woning. Deze ventilatiegaten zorgen ervoor dat de toekomstige houten vloer geventileerd kan worden. Vanaf de ventilatieopeningen lopen buizen (in wit aangegeven) die zorgen voor voldoende ventilatie van de houten vloer.

#### Voorzetwanden en restauratiepleisters

Voorzetwanden zijn uitermate geschikt om de gevolgen van optrekkend vocht te verbergen. Het gebruik van voorzetwanden wordt gezien als symptoombestrijding. Een andere vorm van symptoombestrijding is het gebruik van restauratie pleisters. Deze accumulerende systemen zijn in staat tot het opslaan van de zouten in de pleister bij een niet al te grote zoutbelasting. De open structuur van deze pleisters bevordert de verdamping van het vocht uit de muur. Door de toepassing van restauratiepleisters is het optrekkende vocht niet meer te zien. De bewoners moet wel duidelijk gemaakt worden dat voor een effectieve werking van de pleisters, de muur niet overgeschilderd mag worden.

Volgens een bewoner van het bewonersplatform werden de Delfts blauwe tegels in eerste instantie gebruikt om de effecten van optrekkend vocht te verbergen (Bewonersoverleg bewonersplatform, 25 januari 2005).





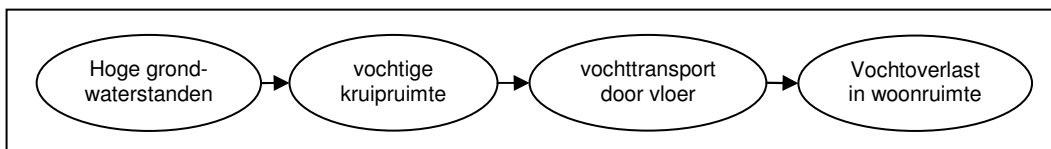
Figuur 3.18: Ventilatieopeningen in de voorgevel van de woning



Figuur 3.19: Aanleg van vloerventilatie

### 3.3 Systeem vochttransport vanuit kruipruimte naar woning

In deze paragraaf wordt ingegaan op het vochttransport van de kruipruimte naar de woning (figuur 3.20). Elk van de vlakken in de onderstaande figuur kan worden beïnvloed door bepaalde factoren. Deze factoren worden per vlak beschreven. De factoren die de hoge grondwaterstanden bepalen worden in deze paragraaf niet meer behandeld omdat deze in de voorgaande paragrafen al aan de orde zijn geweest.



Figuur 3.20: Hoofdsysteem vochttransport kruipruimte - woning

#### 3.3.1 Factoren die het vochtgehalte in de kruipruimte beïnvloeden

Een kruipruimte is een besloten ruimte onder de laagste vloer van een gebouw, en moet volgens artikel 183, lid 2 van de Model-bouwverordening ten minste 0,50 m hoog zijn indien zich onder die vloer leidingen of kanalen bevinden waarvan de bereikbaarheid ten behoeve van een inspectie, onderhoud en reparatie moet zijn verzekerd. Ten aanzien van de maximale hoogte van een kruipruimte zijn in de Modelbouwverordening geen bepalingen opgenomen (Biron, 2004).

De verdamping van grondwater uit de bodem is afhankelijk van:

- Temperatuur in de kruipruimte;
- Ventilatie van de kruipruimte;
- Hoogte van de kruipruimte;
- Hoogte van de grondwaterstand onder de bodem van de kruipruimte.

##### *Temperatuur van de kruipruimte*

Hoe hoger de temperatuur van de kruipruimte, hoe meer vocht kan worden opgenomen door de kruipruimte. Lucht kan maar een bepaalde hoeveelheid waterdamp bevatten. Naarmate de temperatuur lager is, kan de lucht minder waterdamp bevatten. De verhouding tussen de heersende waterdampdruk en de maximale waterdampdruk bij een bepaalde temperatuur, wordt de relatieve vochtigheid genoemd. De dauwpuntstemperatuur is de temperatuur die na een aantal verlagingen van de luchttemperatuur, een relatieve vochtigheid van 100% geeft.

Wanneer lucht met een bepaalde waterdampdruk in aanraking komt met een oppervlak dat de dauwpuntstemperatuur heeft, zal op dit oppervlak condensatie optreden.

#### *Ventilatie van de kruipruimte*

Hoe groter de ventilatie van de kruipruimte, hoe meer lucht langs de bodem van de kruipruimte stroomt, om het grondwater te verdampen. Door de ventilatie wordt vocht zowel aangevoerd als afgevoerd. Als de lucht in de kruipruimte echter vochtiger is dan de buitenlucht, wordt meer vocht afgevoerd dan aangevoerd.

#### *De hoogte van de kruipruimte*

Hoe hoger de kruipruimte, hoe meer lucht langs de bodem van de kruipruimte stroomt om het grondwater te doen verdampen.

#### *Hoogte van de grondwaterstand onder de bodem van de kruipruimte*

Het grondwater onder de kruipruimte kan alleen verdampen als het zich 20 cm of minder onder de bodem van de kruipruimte bevindt (zie paragraaf 3.4.1).

### **3.3.2 Factoren die het vochttransport door de vloer beïnvloeden**

Factoren die de invloed hebben op de hoeveelheid vocht van de kruipruimte naar de woning:

- Drukverschil tussen de kruipruimten en de woonruimte;
- Doorlatendheid van de begane grondvloer;
- De mate van ventilatie.

#### *Drukverschil*

Doordat de buitentemperatuur van een woning lager is dan de binnentemperatuur, ontstaat een drukverschil over de hoogte van de woning en over de begane grondvloer. Hierdoor kan er een drukverschil optreden tussen de kruipruimte en de woonruimte van 5 à 10 Pa. Bij een harde wind of gebruik van een afzuigkap in de keuken, kan dit drukverschil nog hoger zijn dan 10 Pa.

Dampdiffusie is een transportmechanisme waarbij vocht onder invloed van een verschil in dampdruk getransporteerd wordt. Indien twee soorten lucht, met verschillende dampdruk als gevolg van verschillende temperatuur of relatieve vochtigheid, naast elkaar bestaan, wil het vocht van de lucht met de hogere dampdruk diffunderen naar de lucht met een lagere dampdruk. De mate waarin dit transport plaatsvindt, is afhankelijk van het dampdrukverschil en van de weerstand van het tussenliggende medium tegen dampdiffusie. Dampdiffusie is ongeschikt aan ventilatie.

#### *Doorlatendheid van de begane grondvloer*

Lekken in de begane grondvloer bevinden zich vaak:

- Bij de oplegpunten van de vloer;
- Bij de doorvoer van leidingen (keukenkastjes en de meterkast);
- In het kruipruimteluik;

Veel mensen die te maken hebben met grondwateroverlast, hebben onder andere overlast van schimmels in de keukenkastjes. Doordat de keukenkastjes slecht geventileerd zijn en vaak via de leidingdoorvoeren in verbinding staan met de kruipruimte, ontstaan er ideale groeiomstandigheden voor schimmels. In tabel 8 staan de optimale groeiomstandigheden voor schimmels weergegeven.

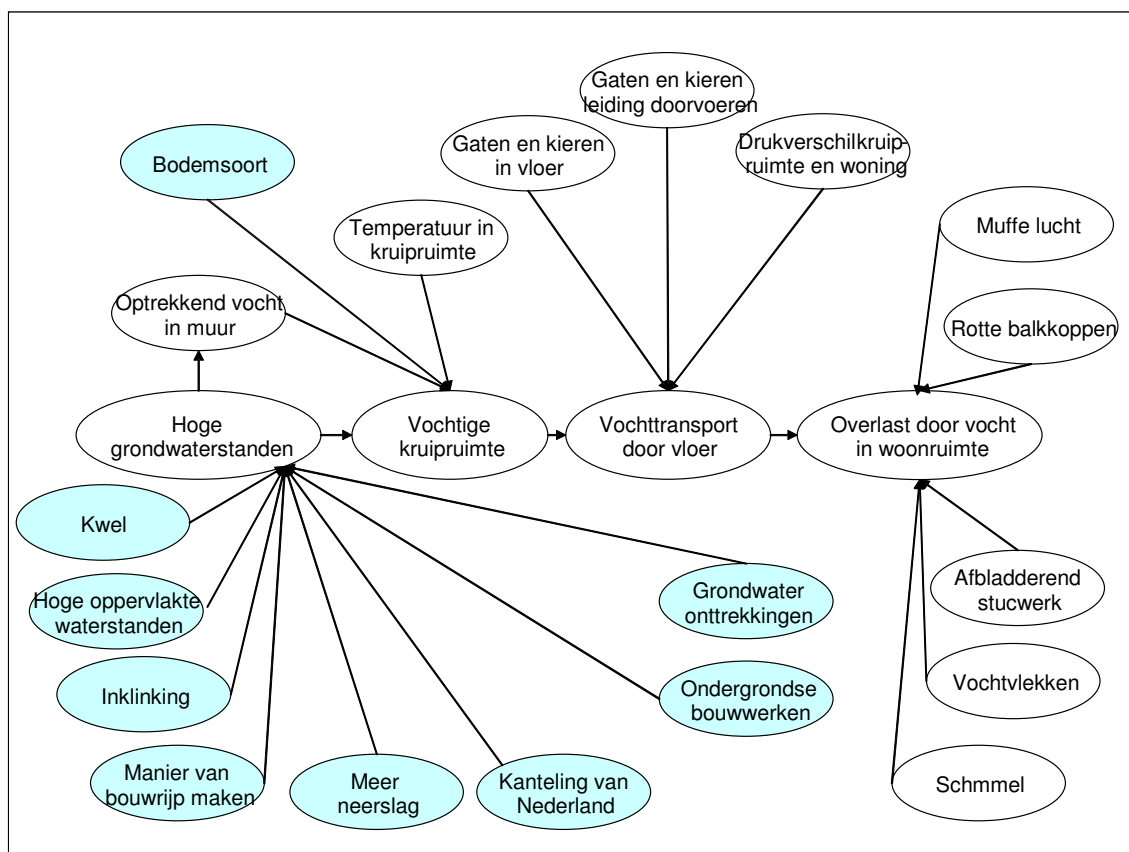


Tabel 8: Invloedsfactoren schimmelvorming (Adan e.a., 2000)

| Invloedsfactor | Schimmelsoort         | Ondergrens  | Optimum        |
|----------------|-----------------------|-------------|----------------|
| Vocht          | Oppervlakte schimmels | 80% RV*     | 90-100% RV     |
|                | Huiszwam              | 20% (kg/kg) | Onbekend       |
|                | Kelderzwam            | 40% (kg/kg) | 50-60% (kg/kg) |
| Temperatuur    | Oppervlakte schimmels |             | 20-35 C        |
|                | Huiszwam              |             | 23 C           |
|                | Kelderzwam            |             | 21 C           |
| Luchtsnelheid  | Oppervlakte schimmels |             | <5cm/s         |
|                | Huiszwam              |             | <5cm/s         |
|                | Kelderzwam            |             | <5cm/s         |

\* RV: Relatieve vochtigheid

### 3.3.3 Factoren die de overlast beïnvloeden



Figuur 3.21: Invloedsfactoren vochttransport kruipruimte - woning

## 3.4 Maatregelen tegen het vochttransport van de kruipruimte naar de woning

Een aantal maatregelen die genomen worden tegen optrekkend vocht, kunnen ook worden toegepast voor het verminderen van het vochttransport van de kruipruimte naar de woning.

### 3.4.1 Maatregelen tegen te hoge grondwaterstanden

#### *Horizontale drainage*

Voor een effectieve werking van het drainagesysteem dient de grondwaterstand in ieder geval 20 cm onder de kruipruimtebodembodem te blijven. Deze grens mag niet overschreden worden. Als de grondwaterstand één dag hoger geweest is dan de bodem van de kruipruimte en vervolgens zakt met meer dan 20 cm, dan bevindt zich in de bovenste 20 cm nog steeds circa 10 mm (5%) vocht, afhankelijk van de bodemsoort. Bij een oppervlak van de kruipruimte van 50 m<sup>2</sup> komt dit overeen met 500 liter. Verdampt water vanaf de bodem van de kruipruimte met een snelheid van 210 g/uur dan is de grond pas na 100 dagen volledig opgedroogd (Geldof, 1992).

Verdamping van grondwater of bodemvocht wordt voorkomen als:

- De bovenste 20 cm van de kruipruimte bestaat uit grof zand (weinig capillaire opstijging) of soortgelijk materiaal;
- De grondwaterstand zelfs in perioden met veel neerslag lager blijft dan het niveau van bodemkruipruimte -20 cm;
- Er geen sprake is van stagnatiewater in de onverzadigde zone.

Een drainage zal nog geen horizontale grondwaterstand opleveren. De grondwaterstand zal opbolling gaan vertonen. Hierdoor zal de grondwaterstand dichtbij de drain lager zijn dan verder van de drainage af. De drainage kan op verschillende plaatsen op het perceel worden aangelegd. Midden onder de woning betekent dat slechts één drain moet worden gelegd. Indien ook sprake is van optrekkend vocht zou er drainage kunnen worden gelegd aan beide zijden van de woning zodat de fundering niet in aanraking komt met capillair water. De uitvoerbaarheid speelt hierbij vanzelfsprekend een grote rol. Ook speelt het type woning een belangrijke rol. Als de fundering van baksteen is, is er meer kans op optrekkend vocht. Als het een blok woningen betreft, zou de drainage ook in een keer kunnen worden aangelegd. Wanneer er eenmaal een drainage aangelegd is, zijn de bewoners verantwoordelijk voor het onderhoud van de drainage. Het goed bereikbaar zijn van de drainage voor onderhoud is daarom aan te bevelen.

### 3.4.2 Maatregelen tegen het te hoge vochtgehalte in de kruipruimte

#### *Ventilatie van de kruipruimte*

Ventilatie van de kruipruimte heeft nauwelijks effect op de luchtvochtigheid. Door ventilatie zal de grondwaterstand niet dalen. Wel zal er meer vocht door de ventilatieopeningen de kruipruimte verlaten. Er zal echter niet veel minder vocht door gaten in de begane grondvloer de woning ingaan. Het ventileren heeft wel invloed op de temperatuur en dus ook op de dampdruk. De hoeveelheid vocht die hierdoor vrij komt, zal hierdoor niet significant afnemen.

Ventilatie zou vooral gezien moeten worden als een ondersteunende maatregel van andere maatregelen en als middel om de effecten van andere maatregelen te versnellen. Wanneer het vochttransport wordt tegengehouden, kan het huis nog steeds erg vochtig zijn en kunnen er nog steeds schimmels groeien. De muren van de woning blijven vochtig, echter door goed te ventileren en het huis goed te verwarmen, kunnen de muren drogen.

#### *Temperatuur verlagen*

Zoals zojuist vermeld is, heeft het verlagen van de temperatuur in de kruipruimte nauwelijks effect.

#### *Dampremmende middelen*

Om het vochttransport tegen te kunnen gaan, kan er een dampdichte laag worden aangebracht op de bodem van de kruipruimte. Als bijwerking zou deze laag ook nog een isolerende werking kunnen hebben. Vanwege deze warmte isolerende werking, subsidieert de overheid de bewoners die dit toepassen.

Volgens de literatuur en interviews met experts zijn de volgende maatregelen geschikt om als dampdichtende laag te dienen: aanbrengen van kleikorrels, aanbrengen van een laag schelpen op de bodem, aanbrengen van schuimbeton en het aanbrengen van dampremmende folies.

#### Kleikorrels

Het toepassen van geëxpandeerde kleikorrels wordt al lang toegepast. Bij dit systeem zijn de korrels waterafstotend gemaakt; de vochtweerstand van dergelijke korrels is echter beperkt en daarmee ook het dampdrukverlagend effect. Opgelet dient te worden dat de geëxpandeerde kleikorrels niet poreus zijn, dit vermindert de effectiviteit. Een laagdikte van circa 250 mm is vereist om een voldoende effectieve vochtweerstand te verkrijgen (Castenmiller & Van Es, 1993; Van Hees & Castenmiller, 1992). Evenals het schuimbeton, functioneren kleikorrels als warmte-isolator en zijn ze zeer damp-open (Adan e.a., 2000).

#### Schelpen

De schelpen worden op grootte geselecteerd en worden in een laag van minimaal 250 mm op een gereinigde bodem aangebracht. Schelpen functioneren op dezelfde wijze als kleikorrels en schuimbeton: ze hebben warmte-isolerende bijwerkingen en zijn zeer damp-open (Adan e.a., 2000).

De schelpen worden vanuit een vrachtwagen met een slang de kruipruimte ingeblazen. Het inblazen van de schelpen neemt ongeveer anderhalf uur in beslag bij een gemiddelde woning. Vanwege inklinking van de schelpen, wordt meestal een laag van iets meer dan de benodigde 250 mm aangebracht. In de meeste situaties voldoet een laag schelpen van 250 mm tegen stank- en vochtoverlast. Als het niveau van de grondwaterspiegel boven de bodem van de kruipruimte komt, dient men deze 250 mm te rekenen vanaf dat niveau, in plaats van af de bodem. Een schelpenlaag heeft buiten de werking van vocht nog twee andere functies: stankwering en warmte-isolatie.

Op dit moment bestaan echter nog steeds twijfels over de effectiviteit van de schelpen. Het vermoeden bestaat dat na verloop van tijd de schelpen degraderen en uiteenvallen in een pap. Dit zou veroorzaakt kunnen worden doordat in het grondwater opgeloste zouten de schelpen (kalk) kunnen aantasten. De resultaten van verschillende onderzoeken uit het onderzoek *Schelpen onder de vloer* (Fraanje, 1999) bevestigt dit echter niet. TNO-Bouw heeft een praktijkproef uitgevoerd waaruit blijkt dat de schelpen de voorspelde thermische en hygrische werking hebben. De thermische en hygrische werking trad in het praktijkonderzoek echter op met een vertraging. De schelpen bevonden zich in een ongeventileerde en gecompartmenteerde kruipruimte die eerst nog droog moest worden (Fraanje, 1999). Ook wordt in het onderzoek van Fraanje een woning uit 1656 genoemd onder welke een laag schelpen is aangebracht die nog steeds functioneerde.

Geconcludeerd wordt dat het nog onduidelijk is hoe effectief de schelpen zijn. Opgemerkt wordt dat de werking afhankelijk is van een aantal condities. Aangeraden wordt onderzoek te doen naar de condities die invloed hebben op de levensduur van de schelpen.

#### Schuimbeton

Schuimbeton wordt in vloeibare vorm de kruipruimte ingepompt. De na verharding geformeerde laag is niet bestand tegen drukkend water. De laag moet om deze reden boven de hoogste grondwaterspiegel aangelegd worden. Daarnaast kan het materiaal capillair water opzuigen. Het materiaal moet daarom aan bepaalde eisen voldoen met betrekking tot capillair gedrag en vochtweerstand. Soms kunnen daardoor aanzienlijke dikten van het materiaal nodig blijken (mede afhankelijk van de gewenste warmte-isolerende eigenschappen). Bij het aanbrengen van een laag schuimbeton wordt betrekkelijk veel vocht de kruipruimte ingebracht. Het vocht zal eerst moeten verdampen voordat de laag een positief effect zal hebben op het vochttransport (Van Hees & Castenmiller, 1992).

Schuimbeton is een lichtgewicht cementgebonden materiaal, dat zich als een vloespecie makkelijk laat verwerken. Het schuimbeton heeft een zeer open structuur en is daardoor goed water(damp)doorlatend. De geringe invloed van schuimbeton op de luchtvochtigheid in de kruipruimte is derhalve gebaseerd op de eigenschap als warmte-isolatie, dat wil zeggen: verlaging van de bodemtemperatuur en daarmee de verdamping. Vrij water in de kruipruimte vermindert het effect. Een aanzienlijke verbetering wordt verkregen, wanneer het schuimbeton wordt aangebracht op een dampremmende folie. Bij toepassing van schuimbeton dient verder rekening gehouden te worden met eventuele zettingen in de bodem (Adan e.a., 2000).

#### Dampremmende folies

Dampremmende folies kunnen de bodem geheel dampdicht afsluiten. De aanhechting van de folie aan de muur van de kruipruimte, is de zwakke plek van de dampremmende folie. Bij het installeren van een dampremmende folie moet hier voldoende aandacht aan besteed worden. Een ander aandachtspunt bij de dampremmende folie, is de mechanische sterkte van de folie. De kruipruimte moet namelijk begaanbaar blijven voor personen. De dampremmende folies kunnen ook drijven. De dampremmende folies worden gezien als uitermate effectief.

### **3.4.3 Maatregelen die het vochttransport door de vloer verminderen**

Het vochttransport door de begane grondvloer kan worden tegengegaan door het dichten van de gaten en kieren in de vloer. Gaten en kieren in de begane grondvloer zijn vooral te vinden bij de leidingdoorvoeren van de kruipruimte naar de woning. De meeste kruipruimteluiken zijn meestal ook niet dampdicht. Andere gaten en kieren zijn echter vaak lastig te vinden. Gekozen kan worden voor het spuiten van een purschuim tegen de onderkant van de begane grondvloer. Bij het gebruik van purschuim tegen de onderkant van de begane grondvloer is een van de problemen dat het purschuim slecht hecht aan houten vloeren. Om het vochttransport tegen te gaan dient 100% van de gaten te worden gedicht.

Een van de nadelen van het purschuim is dat condensvorming op het purschuim kan optreden, en dat deze condens zal gaan druppelen in plassen op de bodem van de kruipruimte. Bij slechte ventilatie van de kruipruimte kan ook schade optreden aan de leidingen die zich in de kruipruimte bevinden.

### **3.4.4 Maatregelen die het ervaren van overlast verminderen**

De muffe lucht die veroorzaakt wordt door de vochtige kruipruimte kan worden verholpen door het goed ventileren van de woning en door bijvoorbeeld gebruik van luchtverfrissers.

### **3.4.5 Samenvatting maatregelen**

De vochtremmende werking van de zojuist beschreven maatregelen wordt in tabel 9 samengevat.

Tabel 9: Vochttremmende werking van maatregelen in de kruipruimte (Adan e.a., 2000)

| Maatregel                                                              | Vochttremmende werking |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Bodemafdekkende systemen                                               |                        |
| ▪ Kunststoffolies en noppenolies                                       | Zeer goed              |
| ▪ Isolatiekussens                                                      | Zeer goed              |
| ▪ Schuimbeton                                                          | Onvoldoende            |
| ▪ Schuimbeton op folie                                                 | Goed                   |
| ▪ Schelpen                                                             | Onduidelijk*           |
| ▪ Geëxpandeerde kleikorrels                                            | Onvoldoende            |
| Systemen tegen onderzijde begane grondvloer                            |                        |
| ▪ In situ gespoten pur schuim                                          | Goed                   |
| ▪ Thermische isolatie (reflecterende folies, isolatiedekens of platen) | Onvoldoende            |
| ▪ Thermische isolatie in combinatie met Bodemfolie                     | Zeer goed              |

\* Over de levensduur van de schelpen bestaat onduidelijkheid. Vermoed wordt dat onder bepaalde condities, na ongeveer tien jaar, de schelpen kunnen vervallen tot een natte pap, die dan verwijderd zou moeten worden.

### 3.5 Diagnose

Voordat een bewoner besluit met welke maatregel hij de grondwateroverlast gaat bestrijden, dient hij eerst vast te stellen met welk type grondwateroverlast hij te maken heeft. Zoals al eerder vermeld, kan een bewoner last hebben van optrekkend vocht of van vochttransport van de kruipruimte naar de woning. Beide typen overlast kunnen ook tegelijkertijd optreden. Naast deze typen, kan de overlast ook een andere oorzaak hebben. Voorbeelden hiervan zijn lekkages of een slechte ventilatie. Hoewel het beter is een specialist in te huren, kan de bewoner eventueel zelf een diagnose stellen aan de hand van de volgende aanwijzingen (Adan e.a., 2000):

- Voor het stellen van een juiste diagnose dienen de uiterlijke kenmerken van de systemen van grondwateroverlast bekend te zijn (zie tabel 10).
- Een extra controle om de gestelde diagnose bevestigd te krijgen, is het bestuderen van de bouwtekening. Zo kunnen eventuele ontwerp- of aannemersfouten ontdekt worden.

Bovenstaande aanwijzingen kunnen tot een goede diagnose leiden. De diverse problemen zijn echter vaak te complex om zelf een diagnose te stellen. Een bouwkundige inspectie van de woning door een expert kan uitsluitsel geven. De expert kan de woning bijvoorbeeld inspecteren op uitvoeringsfouten, ventilatievoorzieningen, koudebruggen en achterstallig onderhoud. Een expert kan ook monsters nemen en metingen verrichten. Het gaat de reikwijdte van dit rapport te buiten om in te gaan op het nemen van monsters en het verrichten van metingen.

Tabel 10: Uiterlijke kenmerken grondwateroverlast

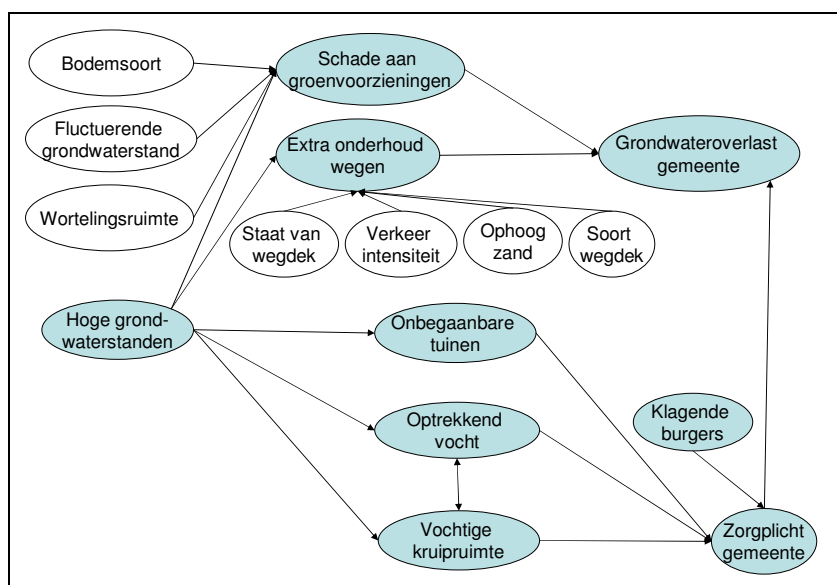
| Type grondwateroverlast                    | Kenmerken                                                     |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Vochttransport van kruipruimte naar woning | Schimmels op meubilair, in meterkast of aanrechtkastjes       |
|                                            | Condensvorming op bijvoorbeeld ruiten                         |
|                                            | Schimmels of vochtplekken op constructie of behang            |
| Optrekkend vocht                           | Duidelijk vochtfront in metselwerk vanaf de begane grondvloer |
|                                            | Zoutuitbloei bij vochtfront                                   |
|                                            | Afgedrukte of verpoederde pleisterlaag                        |
|                                            | Rotte plinten en balkkoppen                                   |

## 4 Maatregelen gemeente

In dit hoofdstuk worden de hydrologische maatregelen die de gemeente kan nemen tegen grondwateroverlast beschreven. Zoals al eerder vermeld kunnen door te hoge grondwaterstanden de wegen, die in beheer zijn van de gemeente, extra schade ondervinden. Daarnaast kan schade optreden aan groenvoorzieningen. Tot slot heeft de gemeente in de toekomst de zogenaamde zorgplicht: zij moet zorgen voor de doelmatige inzameling en afvoer van overtollig grondwater op de perceelsgrens wanneer andere maatregelen hierin niet slagen.

In paragraaf 2.4 is reeds ingegaan op de oorzaken van schade bij wegen en groenvoorzieningen. In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan maatregelen die de grondwaterstand verlagen. Aangenomen wordt dat door het gebruik van dergelijke maatregelen de schade aan groenvoorzieningen en schade aan wegen tegengegaan wordt. Andere maatregelen die de schade aan groenvoorzieningen en wegen tegengaan vallen buiten de reikwijdte van dit onderzoek.

Zoals blijkt uit figuur 4.1, kan de gemeente door het verlagen van de grondwaterstand meerdere resultaten bereiken: de slechte groeiomstandigheden voor groenvoorzieningen, het extra onderhoud aan wegen en de overlast voor bewoners kunnen worden weggenomen. Volledigheidshalve zijn in de figuur de factoren, die de schade aan de wegen en de groenvoorzieningen beïnvloeden, weergegeven.



Figuur 4.1: Systeem grondwateroverlast voor de gemeente

De gemeente heeft de volgende hydrologische maatregelen tot haar beschikking voor het verlagen van de grondwaterstand:

- Actief verticaal onttrekken van grondwater;
- Horizontale drainage;
- Oppervlakte water peil verlagen;
- Verticale drainage.

Een andere maatregel die de gemeente kan uitvoeren is het ophogen van het maaiveld.

## 4.1 Actief verticaal onttrekken van grondwater

Door het actief verticaal onttrekken van grondwater kan de grondwaterstand dalen. Zoals al eerder vermeld zijn in de gemeente Hengelo vergaande plannen om actief verticaal grondwater te gaan onttrekken. Ook in een aantal andere gebieden in Nederland zijn de afgelopen jaren grondwateronttrekkingen beëindigd. Dit heeft meerdere redenen. Een gevolg van grondwateronttrekking bijvoorbeeld, kan de toestroom van bodemverontreinigingen zijn. De grondwaterzuivering kan door de toestroom van de bodemverontreiniging worden beëindigd vanwege de hogere kosten van het zuiveringsproces. Daarnaast kan de provincie de vergunningen om grondwater te onttrekken intrekken, teneinde de verdroging van bijvoorbeeld natuurgebieden tegen te gaan. Door het beëindigen van deze onttrekkingen kan de grondwaterstand stijgen.

Deze grondwaterstijging kan teniet gedaan worden door het plaatselijk actief verticaal onttrekken van grondwater. Hierbij moet wel de reden van de eerdere beëindiging van de onttrekking in acht genomen worden. Tevens dienen de mogelijkheden voor het afvoeren van het opgepompte water of het gebruik ervan bekeken te worden. Door het op de juiste manier plaatsen van de pompen die zorgen voor verticale onttrekking, kan een bijna horizontale grondwaterstand worden gerealiseerd. Hierdoor wordt grondwateronderlast en -overlast voorkomen. Door te lage grondwaterstanden kunnen funderingsproblemen ontstaan.

### 4.1.1 Berekeningen

Als water uit een freatisch watervoerend pakket wordt gepompt, zal de stijghoogte in het watervoerende pakket in de buurt van de pomp dalen. Het pompdebiet is onder evenwichtsomstandigheden gerelateerd aan zowel het verlagen van de grondwaterstand als aan de doorlatendheid van het watervoerende pakket.

Omdat de bodem uit één of meerdere watervoerende pakketten kan bestaan, zullen we hierna verschillende vergelijkingen per bodemopbouw geven. In dit onderzoek worden drie verschillende soorten bodemopbouw onderscheiden:

- Een watervoerend pakket bovenop een ondoorlatende laag;
- Een watervoerend pakket, gelegen tussen twee ondoorlatende lagen;
- Een watervoerend pakket onder een semi-doorlatende laag en bovenop op een ondoorlatende laag.

#### Een watervoerend pakket, gelegen op een ondoorlatende laag

De stroming van grondwater door de grond kan beschreven worden met de wet van Darcy:

$$v = k \cdot i$$

v: Stromingssnelheid (m/etmaal)

k: Hydraulische doorlatendheid (m/etmaal)

i: Verhang (-)

Bij toepassing van de wet van Darcy voor een cilindrisch oppervlak op een afstand  $r$  van de put in een diep half verzadigd watervoerend pakket, geldt de volgende vergelijking:

$$Q = \frac{2\pi rhkdh}{dr}$$

Waarbij:

Q: Debiet uit put ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

r: Afstand van put (m)

h: Stijghoogte (m)

k: Doorlatendheid (m/s)

Uit deze vergelijking volgt, als  $r_1$  naar  $r_2$  wordt geïntegreerd, waar  $h_1$  en  $h_2$  de stijghoogten zijn (grondwaterstanden in dit geval) in het watervoerende pakket, de volgende vergelijking:



$$Q = \frac{\pi k (h_1^2 - h_2^2)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

Figuur 4.2 laat de werking van deze onttrekking zien.

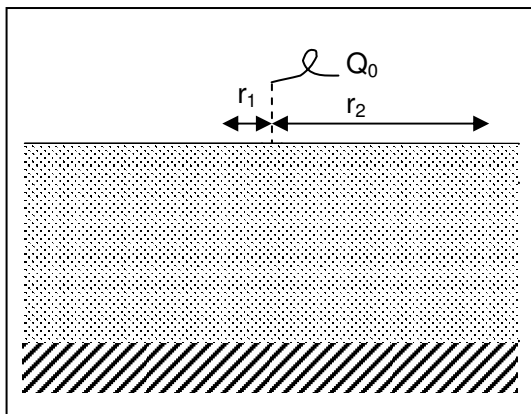
#### Watervoerend pakket tussen twee ondoorlatende lagen

Niet in alle gevallen zal de grondwaterstand dalen ten gevolge van grondwateronttrekkingen. Als het watervoerende pakket is ingesloten door ondoorlaatbare lagen, heeft de onttrekking geen effect op de grondwaterstand en geldt de volgende vergelijking (waar  $b$  de dikte aangeeft van het watervoerende pakket en  $h_1$  en  $h_2$  de verlagingen van de stijghoogte (de stijghoogte op  $r_1$  en  $r_2$ )):

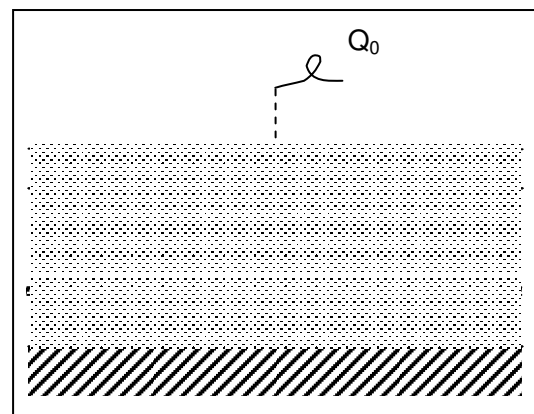
$$Q = \frac{2\pi k b (h_1 - h_2)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

#### Watervoerend pakket onder semi-doorlatende laag

In een aantal gevallen scheidt een semi-doorlatende laag twee watervoerende pakketten. Verondersteld werd dat de onttrekking dan wel invloed heeft op de grondwaterstand. Door de onttrekkingen daalt echter alleen de stijghoogte  $h$  in het half afgesloten watervoerende pakket (zie figuur 4.3). De invloed van deze stijghoogte op de grondwaterstand zal nauwelijks aanwezig zijn. De grote doorlatendheid van het freatische watervoerende pakket is hiervan de oorzaak. Aangenomen wordt dat het onttrekken van grondwater uit de onderste watervoerende pakket geen invloed heeft op de grondwaterstand.



Figuur 4.2: Put in freatische watervoerende laag



Figuur 4.3: Put in half afgesloten watervoerend pakket

#### 4.1.2 Kosten

Een onttrekkingsput zal ongeveer tussen de € 2.500 en € 4.000 kosten (prijsspeil 2005). De lozingskosten en het installeren van de pomp is in deze prijs nog niet meegenomen. De elektriciteitsaansluiting kost ongeveer € 1.500 (prijsspeil 2005). De onderhoudskosten bedragen tussen de ongeveer € 2.000 en € 3.000 per jaar per pomp. Naast deze kosten, zullen er ook nog kosten zijn voor elektriciteitsverbruik.

Geschat wordt dat een onttrekkingsput een levensduur van ongeveer twintig jaar heeft.

## 4.2 Horizontale drainage

Horizontale drainage biedt het grondwater een alternatieve weg, die minder weerstand biedt dan de routes die het grondwater reeds ter beschikking staan. Water kiest de weg van de minste weerstand en stroomt van een plaats met hoge stijghoogte naar een plaats met lagere stijghoogte. Doordat het water in de drains aan een of aan beide uiteinden vrij kan uitstromen, biedt drainage een afstromingsmogelijkheid met minder weerstand. Er bestaan verschillende drainagesystemen:

- Drainage onder vrij verval;
- Drainage met behulp van een pomp;
- Sloten/greppels.

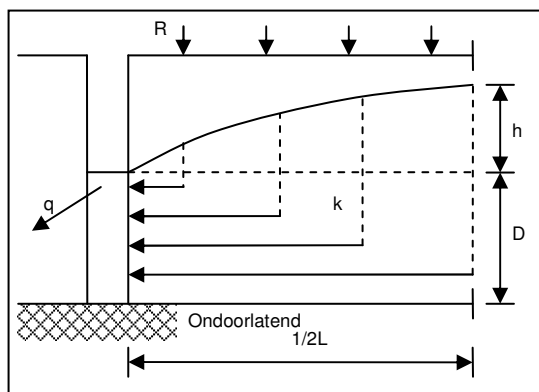
### 4.2.1 Berekeningen

Voor het bepalen van de opbolling, drainafstanden en de ontwateringsdiepte kunnen een aantal berekeningen worden uitgevoerd. Deze berekeningen kunnen zowel stationair als niet-stationair uitgevoerd worden. De afvoer van grondwater is een niet-stationaire stroming ten gevolge van de veranderende neerslag en verdamping. Een aantal vereenvoudigingen wordt toegepast om tot de afstand tussen de ontwateringsmiddelen, de diepte van de ontwateringsmiddelen en de buisdiameter te komen. Het toepassen van stationaire rekenmethode is een van de vereenvoudigingen. Een van de basis principes voor onderstaande berekeningen is de in paragraaf 4.1.1 beschreven wet van Darcy. Met behulp van onder andere de vergelijkingen van Donnan, van Hooghoudt en van Reijnders kunnen de drainafstanden, opbolling en ontwateringsdiepte bepaald worden.

#### *De vergelijking van Donnan*

De vergelijking van Donnan is gebaseerd op onderstaande figuur. De volgende aannamen worden gedaan:

- Er is sprake van een constante regenintensiteit;
- De afvoer via de grond is even groot als de regenintensiteit;
- De watergangen reiken tot aan de ondoorlatende laag.



Figuur 4.4: Toelichting vergelijking van Donnan

R: Afvoer (m/etmaal)

k: Hydraulische doorlatendheid (m/etmaal)

D: Diepte ondoorlatende laag onder ontwateringsniveau c.q. drain niveau (m)

h: Opbolling midden tussen de ontwateringsmiddelen (m)

L: Afstand tussen de ontwateringsmiddelen (m)

$$R = \frac{8 * k D h + 4 k h^2}{L^2}$$

De afleiding voor de vergelijking van Donnan is opgenomen in [bijlage 9](#).

#### Vergelijking van Hooghoudt

De vergelijking van Hooghoudt is als volgt:

$$h = \frac{q * L}{k} F_H$$

$$F_H = \frac{(L - D\sqrt{2})^2}{8DL} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{D}{r_0\sqrt{2}} + f(D, L)$$

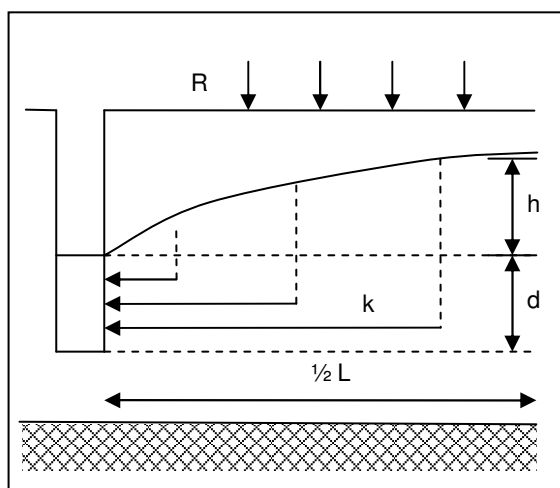
$r_0$ : Straal van drain

$f(D, L)$ : Functie van  $D$  en  $L$ , die in vele gevallen klein is in vergelijking met de andere termen, wordt meestal verwaarloosd.

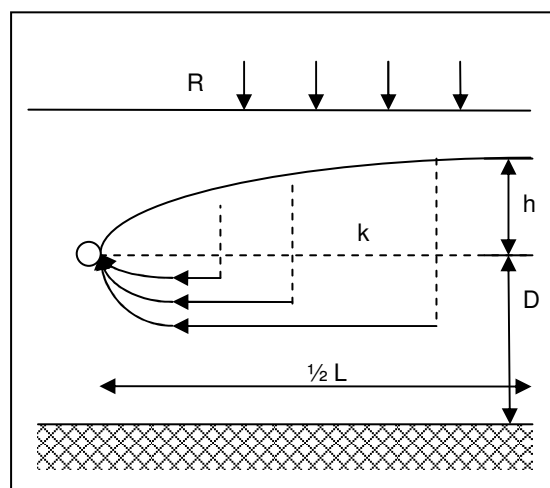
De eerste term in de vergelijking heeft betrekking op horizontale stroming, de tweede en derde hebben betrekking op radiale stroming. Toch gebruikt Hooghoudt liever de vorm van de door Donnan gebruikte formules. Om de extra weerstand ten gevolge van radiale stroming in rekening te brengen introduceerde hij een reductie van de diepte  $D$  tot een kleinere equivalente diepte  $d$ . Voor de bepaling van deze equivalente diepte  $d$  wordt een hypothetische ondoorlatende laag zodanig boven de werkelijke ondoorlatende laag verondersteld, dat het aangenomen stromingsbeeld weer horizontaal is en de radiale weerstand is verrekend. Om de radiale stroming in beeld te brengen moet bij de vergelijking van Donnan,  $D$  vervangen worden door  $d$ :

$$q = \frac{8k_o d h + 4k_b h^2}{L^2}$$

Onderstaande figuren geven de radiale en horizontale stroming weer.



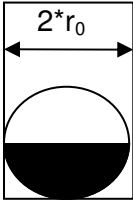
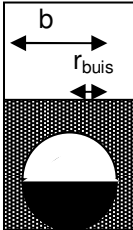
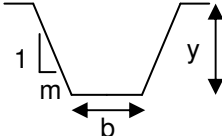
Figuur 4.5: Hooghoudt met sloot



Figuur 4.6: Hooghoudt met drain

De waarden van  $d$  voor een bepaalde  $r_0$  en voor en voor verschillende waarden van  $L$  en  $D$  zijn gegeven in tabellen. De  $r_0$  waarde van een ontwateringsmiddel wordt bepaald zoals aangegeven in tabel 11.

Tabel 11: Bepaling van de equivalente straal (Brouwer, 2000)

|                               |                                                                                     | Natte omtrek (u)          | Equivalente straal ( $r_0$ )                          |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|
| Drain                         |    | $2 * \pi * r_0$           | $\frac{1}{2} * D$                                     |
| Drain met omhullingsmateriaal |    | $b + 2 * r_{buis}$        | $\frac{u}{\pi} = \frac{b + 2 * r_{buis}}{\pi}$        |
| Sloot/greppel                 |  | $b + 2y * \sqrt{m^2 + 1}$ | $\frac{u}{\pi} = \frac{b + 2y * \sqrt{m^2 + 1}}{\pi}$ |

### Vergelijking van Reijnders

De vergelijking van Reijnders is gebaseerd op de vergelijking van Ernst. De vergelijking van Ernst heeft, ten opzichte van de vergelijkingen van Donnan en Hooghoudt, het voordeel dat deze vergelijking kan worden toegepast wanneer in een 2- lagen profiel het drainniveau niet samenvalt met de laagscheiding, en dan vooral in die gevallen dat de doorlatendheid van de bovenste laag groter is dan de onderliggende laag. Ernst onderscheidde drie stromingen: verticale stroming, horizontale stroming en radiale stroming.

Indien na de bouw een slecht ontwaterd stedelijk gebied, bijvoorbeeld door niet voldoende ontwateren of door verstoring van de drainage tijdens de bouw, alsnog gedraineerd moet worden, kan de drainage berekend worden met de vergelijking van Reijnders. Het drainagesysteem dient, voor een zo effectief mogelijke werking, zo dicht mogelijk bij de gevel, van de woning aangelegd te worden. Omdat er geen neerslag naar de bodem zal afvloeien tussen de twee gevel drainagesystemen, wordt verwacht dat er geen opbolling zal optreden. Onder de kruipruimte zal echter wel een lichte opbolling optreden. Deze opbolling wordt veroorzaakt door de radiale weerstand  $W_r$ . De verhoging  $h$  is groter naarmate meer water toestroomt en de weerstand toeneemt.  $W_r$  wordt bepaald door de volgende vergelijking:

$$W_r = \frac{1}{\pi k} \ln \frac{D}{\pi r_0}$$

$W_r$ : radiale weerstand (dag/m)

$k$ : Doorlatendheid (m/dag)

$D$ : Afstand drain tot ondoorlatende laag (m)

$r_0$ : Equivalente straal (m)

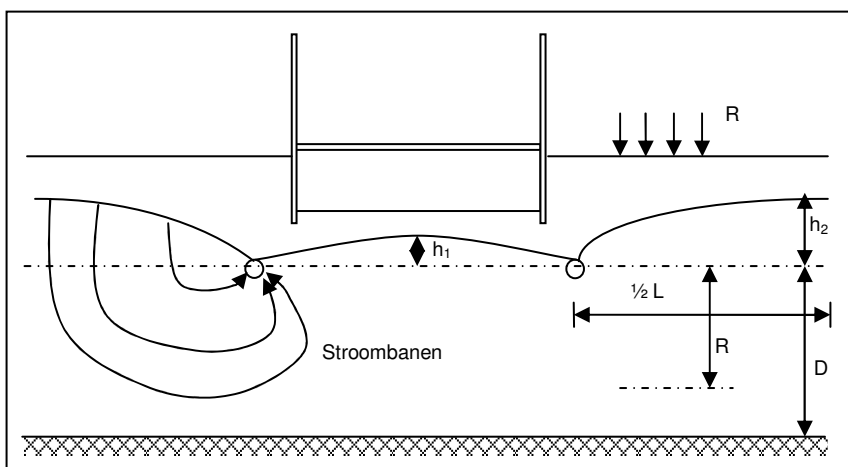
Voor het gedeelte onder het gebouw geldt een radiale toestroming:

$$h_1 = \frac{1}{2} L q W_r$$

Voor het onverharde gedeelte geldt een horizontale en een radiale stroming. Reijnders verwaarloost de verticale stroming:

$$h_2 = h_h + h_r = \frac{qL^2}{8 \sum kD} + \frac{1}{2} qLW_r$$

$$h_2 = \frac{qL^2}{8k_1D + 4k_1h_2} + \frac{1}{2} qLW_r$$



Figuur 4.7: Toelichting vergelijking van Reijnders

De zojuist besproken theorie wordt toegelicht aan de hand van onderstaand rekenvoorbeeld (Hengeveld & Segeren, 1981):

Aangenomen wordt dat de drain op een diepte van 1,3 meter onder maaiveld wordt aangelegd. De norm voor de drooglegging van de kruipruimte is 0,2 meter. De bodem van de kruipruimte bevindt zich op 0,8 meter onder maaiveld. Voor de tuin wordt een ontwateringsdiepte van 0,3 meter onder maaiveld aangenomen.

$h_1$ : 1,30 – 0,8 – 0,2 = 0,3 meter (maximaal)

$h_2$ : 1,30 – 0,3 = 1,00 meter

$D$  zeer groot,  $d$  moet worden ingevoerd

$k$ : 0,5 meter/etmaal

$r_0$ : 0,04 m

$q$ : 10 mm/etmaal = 0,01 m/etmaal

Stel  $L$ : 25 meter. Uit tabel volgt  $d$ : 1,86

$$W_r = \frac{1}{\pi k} \ln \frac{D}{\pi r_0} \Rightarrow W_r = 1,7 \text{ etmaal/m}$$

$$h_2 = h_h + h_r = \frac{qL^2}{8 \sum kD} + \frac{1}{2} qLW_r \Rightarrow L = 26,8$$

$$h_1 = \frac{1}{2} qLW_r \Rightarrow h_1 = 0,22 \text{ m} \Rightarrow \text{voldoet aan de norm!}$$

#### 4.2.2 Omhullingsmaterialen

In tabel 11 werd het gebruik van omhullingsmateriaal voor drainage al vermeld.

Omhullingsmaterialen zijn nodig voor:

- Het tegengaan van inspoeling van grond;
- Het bevorderen van de stroming van grondwater naar de drain.

Omhullingsmaterialen tegen inspoeling van grond is niet nodig bij veengronden en gerijpte, niet verzilte kleigrond. Dit komt door de cohesie tussen bodemdeeltjes. Bij andere soorten grond is dit echter wel nodig. In de stad, waar de bodem vaak bestaat uit ophoogzand, is wel behoefte aan omhullingmaterialen. Inspoeling komt vooral tijdens en net na de aanleg van drainage voor. De oorzaak hiervan is dat de drainagesleuf nog niet stabiel is. De stabiliteit van de drainagesleuf neemt af naarmate er meer vocht in de bodem aanwezig is, zoals in de wintermaanden het geval is. Om deze reden wordt aangeraden om de drainage niet in natte omstandigheden aan te leggen.

De doorlatendheid van goed gerijpte kleigronden is als gevolg van scheurvorming en macroporiën groot. Het bevorderen van de toestroming door middel van een omhullingsmateriaal is niet nodig. Veengronden hebben, net als bij de kleigronden, kans op een verdichting en versmering van de grond rondom de drain. Omdat dit gebied erg belangrijk is voor de radiale toestroming, wordt hier een omhullingsmateriaal toegepast.

Aan de omhullingsmaterialen voor drainage worden eisen gesteld aan de dikte, sterkte en de dichtheid. De dichtheid is het meest bepalend voor de effectiviteit en werkingsduur van het omhullingsmateriaal. Een te grof omhullingsmateriaal houdt de grond onvoldoende tegen, terwijl bij een te fijn materiaal het risico van verstopping aanwezig is. Het is niet eenvoudig zand uit de drains te verwijderen.

Het omhullingsmateriaal moet de inspoeling van zand voorkomen door het tegen te houden. Fijnere fracties (< 50 á 100 micron) kunnen uit de drains gespoeld worden. Te fijne materialen kunnen verstopt raken door ijzerafzettingen en fijne bodemdeeltjes, zoals humus. In Nederland zijn ijzerafzettingen de belangrijkste oorzaak voor verstopping. Hierbij wordt het oplosbare tweewaardige ijzer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) met het grondwater aangevoerd. Zodra dit in contact komt met zuurstof, ontstaan vlokken in de vorm van driewaardig ijzer ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en een roestbruine substantie, gevormd door ijzerminnende bacteriën. In delen van Nederland worden dergelijke ijzerverbindingen als gevolg van de hydrologische situatie permanent met het grondwater aangevoerd, zodat verstopping van de drains op termijn onafwendbaar is. Om het verstoppingsrisico met ijzervlokken en fijn bodemmateriaal te beperken, moeten deze materialen zoveel mogelijk worden doorgelaten. Hoe grover een omhullingsmateriaal, hoe beter dit doorlaten lukt. Hoe fijner, hoe groter de kans op verstopping.

Aan de hand van praktijkervaringen en een onderzoek zijn voor de toepassing van omhullingsmaterialen de volgende praktijkregels afgeleid (Van de Ven & Van Zeijts, nummer 1/2, 2001):

- In stedelijk gebied is bijna overal een omhullingsmateriaal nodig;
- De karakteristieke poriëngrootte van omhullingsmateriaal dient minimaal 400 en maximaal 1100 micron te zijn. Polypropeenvezels met een  $O(90)$ -waarde van 450 (PP 450) is als regel een goed bruikbaar materiaal.
- In geval van ijzerafzettingen dient de bandbreedte te worden beperkt tot 700 - 1100 micron. In dit geval is het grovere en wat duurdere Polypropeenvezels 700 (PP700) of Polystyreen (PS 1000) aan te bevelen.
- Vanwege de economische belangen in de stad, moeten risico's zo veel mogelijk worden uitgesloten. Het is dan ook aan te raden om, naast de toepassing van een goed omhullingsmateriaal, de drainsleuf aan te vullen met goed doorlatend materiaal.
- Organische omhullingsmaterialen zoals kokosvezels verteren binnen 5 á 10 jaar. Ze zijn daarom meestal alleen bruikbaar bij tijdelijke drainage.

- Alleen KOMO-gecertificeerde materialen geven zekerheid over de kwaliteit van een omhullingsmateriaal.
- Aanleg van de drainage in droge omstandigheden is belangrijker dan de keuze van het juiste omhullingsmateriaal.

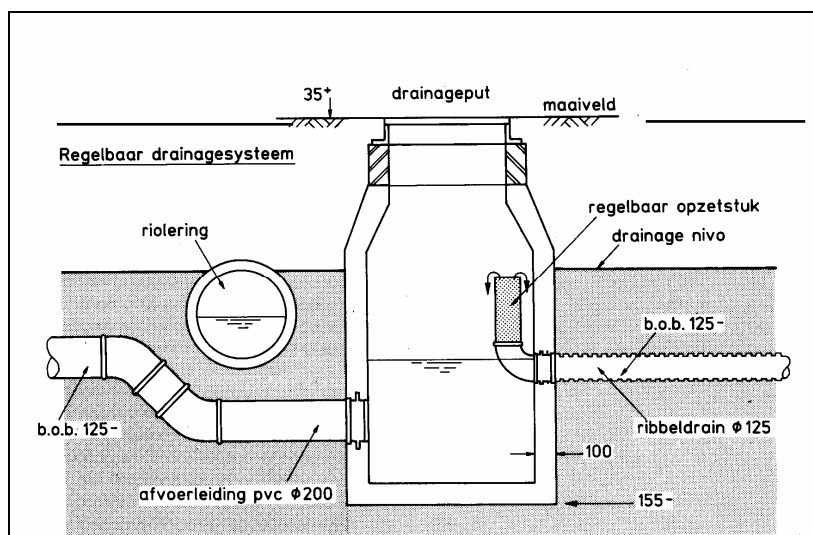
Meer informatie over drainagematerialen is te vinden in [bijlage 10](#).

#### 4.2.3 Onderhoud

Een drainagesysteem heeft onderhoud nodig. Hiervoor worden in het drainagesysteem doorspuitputten opgenomen (zie figuur 4.8). Voor het goed onderhouden van het drainage systeem, dienen de putten bereikbaar te zijn en dienen ze duidelijk aangegeven te staan op kaartmateriaal. In stedelijke gebieden kunnen drains beter horizontaal aangelegd worden. Als in een drainagesysteem een verstoring optreedt, kan de afvoer in de andere richting toch plaatsvinden (Hengeveld & Segeren, 1981).

Drains worden doorgespoten met een slang die met de spuitkop door de hele drain heen en weer wordt gehaald. De gaatjes in de spuitkop zorgen ervoor dat het vuil losgemaakt en afgevoerd wordt. Het doorspuiten gebeurt onder een middelhoge druk tussen de 30 en 40 bar. Het doorspuiten kan ook onder een lagere druk plaatsvinden (15 - 20 bar). Het doorspuiten van de drain is niet altijd effectief. In sommige gevallen kan het doorspuiten zelfs schadelijk zijn voor het functioneren van de drainage. In instabiele bodemprofielen, zoals zandprofielen en zeer fijnzandige ondergronden in zeekleigebieden, kan het doorspuiten drijfzand rond de drainage veroorzaken als gevolg van de drukverhoging in het water rondom de drainage. Het gevolg hiervan is, dat er na het doorspuiten meer zand in de drain zit dan ervoor. Om deze reden mag een drainageput niet worden doorgespoten onder een druk tussen de 60 tot 80 bar. Bij de middelhoge drukken is dit risico echter ook aanwezig. De spuitkop mag niet te lang op een plaats blijven steken. Doorspuiten is alleen effectief als voldaan wordt aan de onderstaande punten:

- Als verwacht wordt dat de drains minder goed gaan functioneren;
- Als het minder goed functioneren veroorzaakt wordt door vervuiling die losgemaakt en afgevoerd kan worden;
- Als geen sprake is van een risico op inzanding als gevolg van drijfzand dat tijdens het doorspuiten wordt gevormd.



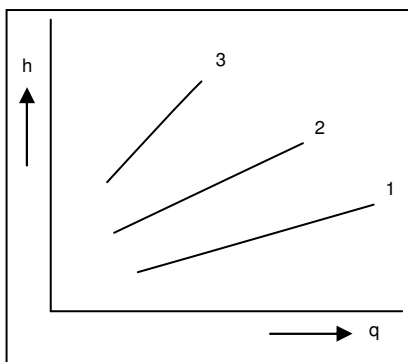
Figuur 4.8: Principe van een doorspuitput en regelbaar opzetstuk

#### 4.2.4 Monitoren werking drainage

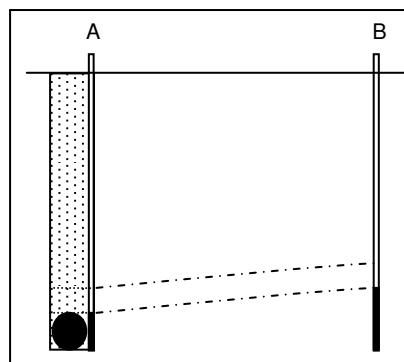
Voor het vaststellen van een onderhoudsschema is het van belang te weten of het drainage systeem functioneert. Dit functioneren kan op verschillende manieren gemonitord worden. Gekozen kan worden voor het plaatsen van een peilbuis in het drainagecunet (zie figuur 4.10: verschillende methoden voor het monitoren van de werking van een drainagesysteem , A) waarin ook de drain ligt, of voor het plaatsen van een peilbuis op een bepaalde afstand van de drainage (zie figuur 4.10: verschillende methoden voor het monitoren van de werking van een drainagesysteem , B).

Bij systeem A kan aan de hand van de  $Q$ - $h$  verhouding worden bepaald of het drainagesysteem nog voldoende functioneert. De  $Q$  kan net zoals de  $h$  worden gemeten. Als het systeem niet meer functioneert is een duidelijke verhoging van de stijghoogte waar te nemen in de peilbuis. In figuur 4.9 is de  $Q$ - $h$  verhouding weergegeven in drie opeenvolgende jaren. In de grafiek is te zien dat per jaar het drainagesysteem minder goed gaat functioneren. Duidelijk is te zien dat in jaar 2 de stijghoogte  $h$  afneemt bij een gelijk blijvende afvoer  $Q$ . Na drie jaar functioneert de drainage nauwelijks meer. Bij systeem B wordt alleen gekeken naar de stijghoogte in de peilbuis. Door de stijghoogte te meten wordt duidelijk of het drainagesysteem functioneert.

Het slechter functioneren van het drainagesysteem kan worden veroorzaakt door een verhoogde intreeweerstand. De intreeweerstand wordt verhoogd door het dichtslibben van de poriën van het omhullingsmateriaal. De intreeweerstand van een drain wordt bepaald door de omvang van de buis en het omhullingsmateriaal. Als de intreeweerstand van de drain toeneemt zal ook de effectiviteit van de drainage afnemen. Door een vergroting van de intreeweerstand zal de grondwaterstand stijgen (zie figuur 4.10: verschillende methoden voor het monitoren van de werking van een drainagesysteem ).



Figuur 4.9:  $Q$ - $h$  relatie



Figuur 4.10: Verschillende methoden voor het monitoren van de werking van een drainagesysteem



#### 4.2.5 Kosten

In de onderstaande tabel staan de indicatieve kosten weergegeven voor de aanleg van drainage.

Tabel 12: Kosten drainage (Gemeente Amsterdam, 2002)

|                                          | <b>Drainage</b><br>(€/m, incl. BTW) | <b>Afvoerleiding</b><br>(€/m, incl. BTW) |
|------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| Meeliften met werkzaamheden              | 30                                  | 37.8                                     |
| Zelfstandige aanleg in klinkerbestrating | 163                                 | 170                                      |
| Zelfstandige aanleg in asfalt            | 726                                 | 737                                      |

#### 4.2.6 Flexibiliteit

Door toepassing van een regelbaar opzetstuk kan het niveau van ontwatering ingesteld worden en aan de veranderende omstandigheden worden aangepast (zie figuur 4.8).

#### 4.2.7 Conclusie

Grondwaterstroming is een niet-stationair proces met steeds wisselende neerslag en verdamping. Bij toepassing van de huidige stationaire en niet-stationaire drainagevergelijkingen in bestaand stedelijk gebied is echter niets te zeggen over de werkelijk optredende grondwaterstand. De heterogeniteit van de bodem in het stedelijke gebied is hiervoor verantwoordelijk. Deze heterogeniteit wordt vooral bepaald door het optreden van storende lagen en verticale onderbrekingen in de doorlatendheid.

Het toepassen van niet-stationaire berekeningen voor de aanleg van drainage in bestaand stedelijke gebied is een dure aangelegenheid. Dit heeft vooral te maken met het aantal parameters en het aantal metingen dat nodig is voor de opzet van een rekenmodel. Dit wordt in dit onderzoek dan ook als niet haalbaar gezien. Voor nieuw te ontwikkelen gebieden is het toepassen van niet-stationaire rekenmethoden wel goed mogelijk. De kosten voor het gebruik van het model zijn in verhouding met de overige kosten voor het ontwikkelen van een nieuwbouwwijk bijna nihil.

Voor de grondwaterproblemen in bestaand stedelijk gebied wordt aangeraden een stationaire rekenmethode te ontwikkelen die rekening houdt met de heterogeniteit van de bodem. Een risicofactor zou ingevoerd kunnen worden waardoor de grondwaterstand een bepaalde overschrijdingsfrequentie krijgt.

### 4.3 Aanpassen van het oppervlaktewaterpeil

Door het verlagen van het oppervlaktewaterpeil is het mogelijk om grondwaterstanden te verlagen. Het oppervlaktewater, bijvoorbeeld een singel of gracht in stedelijk gebied, heeft een ontwaterende functie. Vaak is het echter een probleem om een oppervlaktewaterpeil te verlagen. De volgende problemen kunnen ontstaan bij het verlagen van oppervlaktewaterpeilen:

- Problemen met benodigde vaardiepte;
- Funderingsproblemen;
- Instabiliteit van kademuren;
- Te lage grondwaterstanden voor de landbouw.

#### *Berekeningen*

Met open water als ontwateringsmiddel, zonder het gebruik van andere ontwateringsmiddelen, is in vele gevallen geen voldoende ontwatering te verkrijgen (Hengeveld & Segeren, 1981). Nadelen van ontwatering met sloten of grachten is het ruimtebeslag en de hoge kosten voor de aanleg van bruggen en andere constructies. Bebouwing langs de sloten zou ook nog invloed kunnen hebben op de grondwaterstroming. In het onderstaande voorbeeld wordt in een slecht

ontwatert gebied het oppervlaktewaterpeil verlaagd. Het effect op de grondwaterstand is echter te verwaarlozen.

*Randvoorwaarden:*

- Ontwateringsniveau van 0,9 m onder maaiveld naar 1,10 m onder maaiveld.
- Vereiste minimale drooglegging 0,80 m
- Opbolling dus maximaal 30 cm.
- Singeldiepte, 1,00 meter, talud 1: 2,5, bodembreedte 5 m.

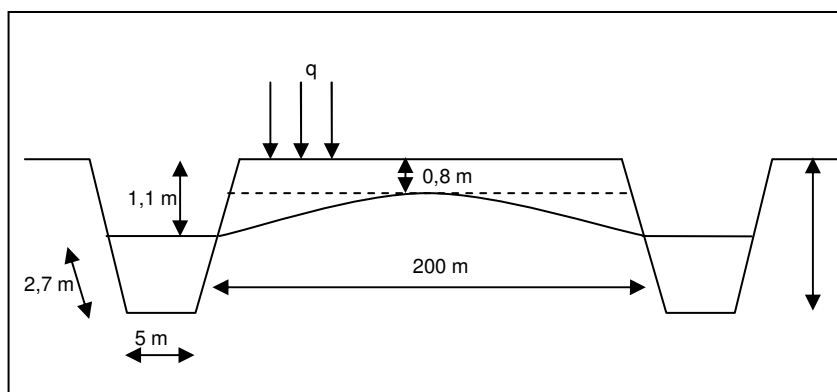
*Gegevens:*

- $q$ : 10 mm/etmaal
- $D$ : 1,90 m
- $u$ :  $5+2,7+2,7=10,4$
- $\pi r_0$ :  $u \Rightarrow r_0$ : 3,31 m
- $L$ : 200 meter
- $k$ : 13,9 m/etmaal

Uit een tabel voor de bepaling van de equivalent laag volgt  $d$ : 1,9 m.

$$L^2 = \frac{8kdh + 4kh^2}{q}$$

Hieruit volgt dat  $h$  1,39 meter bedraagt.  $h$  Mag echter maximaal 0,3 meter bedragen. Een verlaging van het oppervlaktewaterpeil heeft in dit geval dus weinig effect.



Figuur 4.11: Verlaging van het oppervlaktewaterpeil

Indien een sloot als ontwateringsmiddel dient kan deze zijn ontwaterende werking verliezen door het bezinken van slib op de bodem van de sloot. Hierdoor wordt de intreeweerstand van de sloot vergroot. Door regelmatig onderhoud uit te voeren, kan dit worden voorkomen.

#### 4.4 Verticale drainage

Verticale stroming zal optreden, indien er een stijghoogte verschil tussen de verschillende goed doorlatende lagen aanwezig is (zie figuur 4.12). De snelheid van de verticale stroming kan berekend worden met de volgende formule:

$$v_z = -k \frac{dh}{dz} = -\frac{k_z}{d} (h_2 - h_1)$$

$$c = \frac{d}{k_z}$$

$$v_z = \frac{-(h_1 - h_2)}{c}$$

Waarbij:

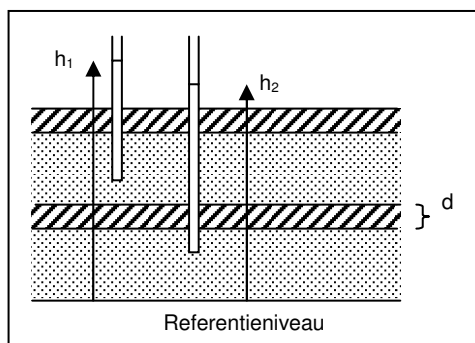
c: Hydraulische weerstand ( $s^{-1}$ )

d: Dikte van de semi-doorlatende laag (m)

$v_z$ : Snelheid (m/s)

$k_z$ : Verticale doorlatendheid (m/s)

Door het verlagen van de hydraulische weerstand  $c$ , door bijvoorbeeld de slecht doorlatende laag te doorboren, kan de grondwaterstand in het bovenste pakket worden verlaagd. In het boorgat kan doorlatend materiaal worden gestort of een kunststof buis worden geplaatst. Het precieze effect op de grondwaterstand van verticale drainage wordt niet in de onderzochte literatuur beschreven. Deze methode wordt in de praktijk uitgevoerd door ervaringsdeskundigen. In Nederland komt de situatie waarbij verticale drainage kan worden toegepast voor de verlaging van de grondwaterstand weinig voor.



Figuur 4.12: Verticale stroming

## 4.5 Ophogen van het maaiveld

Door het ophogen van het maaiveld wordt de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld verlaagd. Omdat het ophogen van het maaiveld onder woningen en wegen lastig en kostbaar is, is deze methode alleen effectief voor het “verlagen” van de grondwaterstand onder groenvoorzieningen. Deze worden hierdoor beter begaanbaar en de groeimogelijkheden worden verbeterd. Door het ophogen van het maaiveld kunnen ook problemen ontstaan bij aangrenzende percelen. Het water dat op het opgehoogde gebied terechtkomt, zal namelijk afstromen naar lager gelegen delen. Bij parken zal een deel van de begroeiing moeten worden verplaatst of vervangen.



## 5 Afweging maatregelen

In dit hoofdstuk zullen we komen tot een afweging van de in de vorige hoofdstukken beschreven maatregelen. Het vertrekpunt voor het afweegbaar maken van de maatregelen ligt bij de veronderstelling dat de gemeente als eerste maatregelen tegen de grondwateroverlast gaat nemen op het (eigen) openbare terrein. De gemeente kan namelijk grootschaligere maatregelen nemen dan de bewoners. Met die maatregelen probeert de gemeente een zo groot mogelijk deel van de grondwateroverlast op zowel het openbare als het particuliere terrein te bestrijden. Hebben de maatregelen van de gemeente niet voldoende effect, dan zijn de bewoners zelf aan de beurt om maatregelen te nemen. De maatregelen die de gemeente op het openbare terrein kan uitvoeren, zullen aan de hand van criteria worden gewaardeerd. Bij deze waardering kan de gemeente de bewoners die last hebben van grondwateroverlast betrekken. De criteria hiervoor worden opgesteld in paragraaf 5.1.

Omdat de verschillende delen van Nederland een andere bodemopbouw hebben, zal niet elke hydrologische maatregel van de gemeente overal even effectief zijn. Om toch de maatregelen met elkaar te kunnen vergelijken, is het nodig om verschillende overlastgebieden te onderscheiden op basis van de bodemopbouw. Hierop zal worden ingegaan in paragraaf 5.2.

In paragraaf 5.3 zal een schema worden opgesteld waarmee gekomen kan worden tot een afweging van de maatregelen.

### 5.1 Criteria

Om de mogelijke hydrologische maatregelen van de gemeente te kunnen vergelijken, worden de volgende criteria gebruikt: effectiviteit, kosten, levensduur, onderhoud en flexibiliteit.

Bij het criterium effectiviteit wordt onderscheid gemaakt tussen de effectiviteit van de maatregel op het openbare en particuliere terrein. Doordat de hydrologische maatregelen afhankelijk zijn van verschillende factoren en niet volgens hetzelfde principe functioneren, is het niet eenvoudig om deze maatregelen met elkaar te kunnen vergelijken. De maatregelen die de gemeente uitvoert zijn effectief te noemen voor de gemeente, wanneer aan twee voorwaarden wordt voldaan. Ten eerste dienen de grondwaterproblemen op het openbare terrein te worden opgelost. Ten tweede dient de gemeente te voldoen aan haar zorgplicht: de doelmatige inzameling en afvoer van overtollig grondwater op de perceelsgrens. Doordat horizontale drainage als enige maatregel voldoet aan de zorgplicht en goed scoort op de andere criteria, dient de gemeente over te gaan tot de aanleg van horizontale drainage. Alleen voor het geval de aanleg van horizontale drainage niet mogelijk is door bijvoorbeeld ruimtegebrek of door kans op inklinking van de ondergrond zal de gemeente andere maatregelen moeten overwegen. Dan is de bodemopbouw ter plaatse wel relevant. Dit is bijvoorbeeld het geval in gebieden waar de woningen bijna direct op veen gebouwd zijn.

### 5.2 Indeling gebieden

De geologische opbouw van Nederland verschilt sterk van plaats tot plaats. Om Nederland op te delen in gebieden met ongeveer dezelfde bodemopbouw en dezelfde soort grondwateroverlast gebruiken we een variant op de indeling die Beenen (1992) omschreven heeft:

1. Gebieden met een slechte doorlatendheid van de ondergrond, bijvoorbeeld rivierengebieden en zeekleigonden;
2. Gebieden met een zettingsgevoelige veenbodem;
3. Gebieden met een sterke relatie tussen het diepe en ondiepe grondwater, bijvoorbeeld poldergebieden;
4. Gebieden met relatief grote hoogteverschillen, bijvoorbeeld beekdalen, duingebieden en stuwwallen.

De maatregelen die in hoofdstuk 4 beschreven zijn, kunnen niet allemaal worden toegepast op de hiervoor genoemde gebieden.

In het geval er sprake is van een slechte doorlatendheid van de ondergrond onder de woningen, kan alleen horizontale drainage de grondwaterstand verlagen. Voorwaarde hiervoor is dat de woningen wel op een voldoende dikke laag ophoogzand gebouwd zijn. Voor veengebieden is dit evenwel geen oplossing omdat daarmee de bodemdaling wordt versneld. In die veengebieden wordt het openbare terrein juist natgehouden en worden problemen met grondwateroverlast in de woning enkel met bouwtechnische maatregelen ondervangen. In het geval er sprake is van een wegzijgings situatie kan verticale drainage worden toegepast. In gebieden met grote hoogteverschillen kan de grondwaterstand door de gemeente alleen worden verlaagd door het actief verticaal onttrekken van grondwater of horizontale drainage. In gebieden met een sterke relatie tussen het diepe en ondiepe grondwater kan alleen horizontale drainage worden toegepast om de grondwaterstand te verlagen. Vanwege de kwelsituatie is het toepassen van verticale drainage onmogelijk. Vanwege de hoge kosten en het geringe effect, wordt het verlagen van het oppervlaktewaterpeil niet gezien als een effectieve maatregel voor het verlagen van de grondwaterstand.

In paragraaf 5.3 geven we in een schema het samenspel van oplossingen door burgers en gemeenten tezamen, waarbij, behalve bij veengebieden, horizontale drainage door de gemeente het startpunt van het ontwerp is.

### 5.3 Oplossingsstrategie

In het onderstaande schema staat een strategie om te komen tot een oplossing van de grondwaterproblematiek. Het schema is opgesplitst in de vijf fasen die optreden na de probleem(h)erkenning: de inventarisatiefase, de ontwerpfase, de uitvoeringsfase, de monitoringsfase en de evaluatiefase. Deze fasen worden hieronder nader toegelicht.

#### *Inventarisatiefase*

In de inventarisatiefase wordt onderzocht wat de oorzaak van de grondwateroverlast is op het openbare en particuliere terrein. In sommige gevallen kan het neerslaan van slib op de slootbodem de oorzaak van de grondwateroverlast zijn en kan dit eenvoudig worden opgelost door de sloten te baggeren. Ook wordt onderzocht wat de gewenste ontwateringsdiepte in het gebied is. Om zakkingen te voorkomen mag de grondwaterstand niet lager zijn dan de laagste historische grondwaterstand. De diepte van de bodem van de kruipruimte en de fundering van de woning onder het maaiveld bepalen de gewenste ontwateringsdiepte voor de woningen. Niet alle woningen hebben de bodem van de kruipruimte en de fundering op dezelfde diepte onder het maaiveld. Hierdoor zal de gewenste ontwateringsdiepte niet voor alle bewoners hetzelfde zijn.

In deze fase is het ook belangrijk om de overlastsituatie goed in beeld te brengen waardoor de huidige situatie goed vergeleken kan worden met de toekomstige situatie. Deze situatie kan in beeld gebracht worden door het plaatsen van peilbuizen in de woonwijk en het plaatsten van vochtigheidsmeters in de woningen. Onderzoek aan de waterkwaliteit kan aangeven of de oorzaak soms een lekker waterleiding is.

#### *Ontwerpfase*

De eerste aanname in de ontwerpfase is het feit dat de gemeente als eerste horizontale drainage gaat aanleggen. Voor veengebieden verloopt deze fase anders. Als eerste stap in de gewone ontwerpfase moet worden geanalyseerd wat de optimale ligging van het drainagesysteem is om de problemen op openbare terrein op te lossen. Een randvoorwaarde hierbij is dat de particuliere percelen direct grenzen aan het drainagesysteem, zodat de bewoners hierop desgewenst hun drainage aan kunnen sluiten. Hierna moet gekeken worden in hoeverre met drainagesysteem in het openbare gebied de gewenste ontwateringsdiepte kan worden bereikt op het openbare én particuliere terrein. De berekeningen hiervoor kunnen

worden gedaan aan de hand van de stationaire vergelijking van Hooghoudt. Maar zoals reeds geconcludeerd in hoofdstuk 4 is deze rekenmethode niet erg nauwkeurig.

Als de gewenste ontwateringsdiepte op particuliere percelen niet door het drainagesysteem van de gemeente kan worden bereikt, wordt aangenomen dat de gemeente de bewoners aanraadt om zelf ook horizontale drainage aan te leggen. Dit wordt aanbevolen omdat door het aanleggen van drainage, de bewoners drie problemen (natte kruipruimte, optrekkend vocht en natte tuinen) in één keer kunnen oplossen. De aanleg van drainage zal waarschijnlijk ook goedkoper zijn dan het uitvoeren van twee maatregelen in de woning. Dit zou nog onderzocht kunnen worden. De aanleg van drainage houdt ook in dat de bewoners geen hinder in de woning zullen ondervinden tijdens de aanlegfase. Mocht de horizontale drainage niet aangelegd kunnen worden vanwege zettingen of niet effectief zijn, dan kan de bewoner overgaan tot het uitvoeren van bouwtechnische maatregelen.

De gemeente kan na het doorlopen van de ontwerpfasen overgaan tot het aanbesteden van de aanleg van een drainagesysteem. De bewoners zullen door de gemeente worden voorgelicht over de maatregelen die zij gaan nemen. In het geval de woningen op een veenbodem staan, wordt de bewoners niet aangeraden horizontale drainage aan te leggen maar direct over te gaan tot het uitvoeren van bouwtechnische maatregelen.

#### *Uitvoeringsfase Gemeente*

In de uitvoeringsfase is het voor de gemeente belangrijk om de maatregelen goed uit te laten voeren. Aanbevelingen over de aanleg en het onderhoud zijn beschreven in hoofdstuk 4. De gemeente zal de bewoners goed op de hoogte moeten brengen van de mogelijkheid een aansluiting te realiseren op het drainagesysteem van de gemeente. De bewoner hoeft hiervoor zelf nog niet over te gaan tot de aanleg van een eigen drainagesysteem. Het realiseren van een aansluiting tijdens de aanleg van het drainagesysteem is een stuk eenvoudiger en goedkoper dan het aanbrengen van een aansluiting nadat het systeem is aangelegd.

#### *Monitoringsfase*

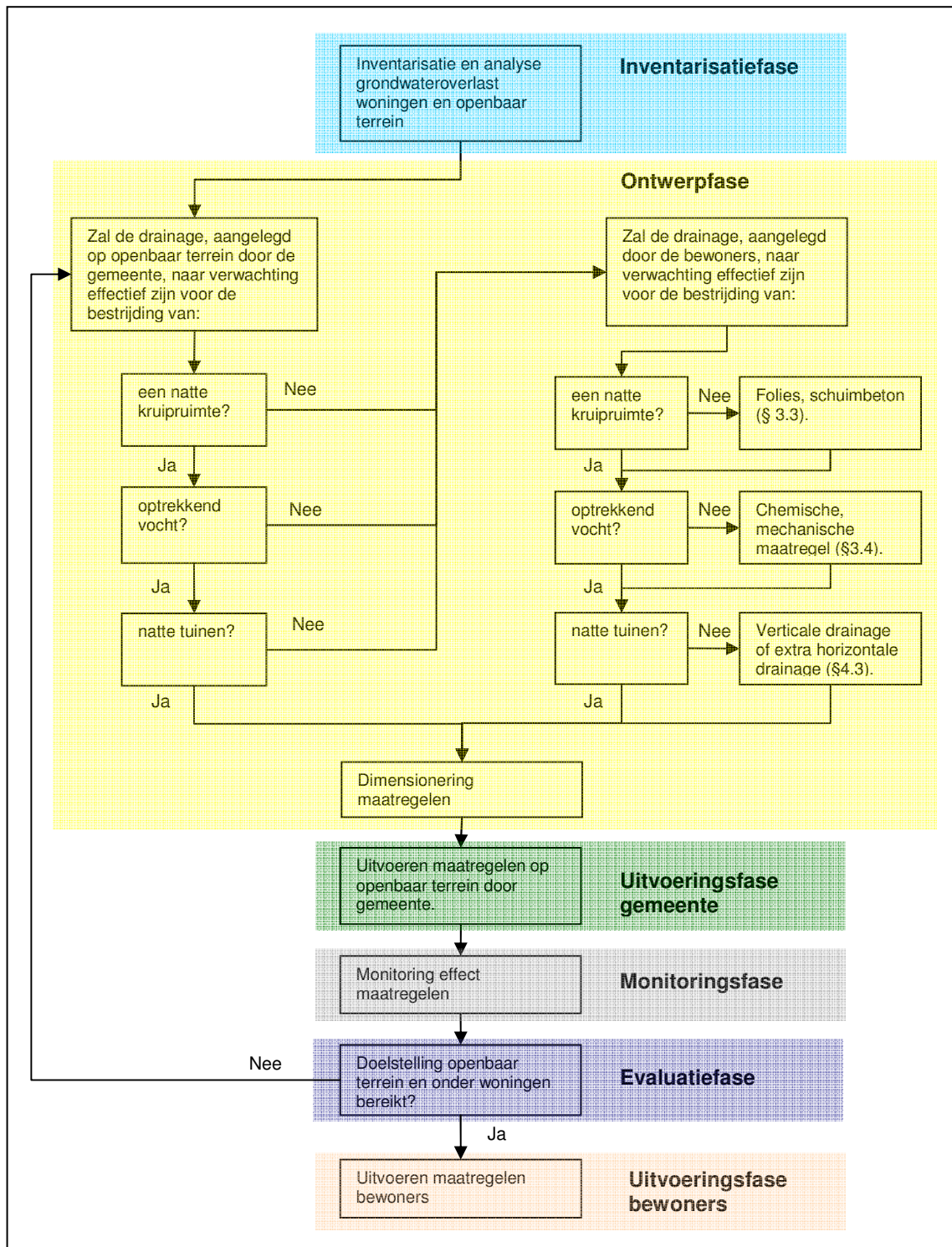
In deze fase wordt doorgegaan met het monitoren van de grondwaterstanden en de luchtvochtigheid in de woningen. Aangenomen wordt dat de grondwateroverlast voor de bewoners door de aanleg van horizontale drainage niet meteen zal verdwijnen. Zo zal het vocht in de woning eerst de woning moeten verlaten door bijvoorbeeld goede ventilatie. Een goede voorlichting van de gemeente is hiervoor noodzakelijk.

#### *Evaluatiefase*

Tijdens de evaluatiefase zal gekeken worden of het door de gemeente gewenste effect is bereikt. Is dit niet het geval dan wordt gekeken naar eventuele fouten in de ontwerp- of uitvoeringsfase. In sommige gevallen kan de grondwaterstand nog verlaagd worden door het verkorten van het flexibele opzetstuk van het drainagesysteem (zie Figuur 4.8). In andere gevallen wordt het schema opnieuw doorlopen en worden extra maatregelen aangeraden aan bewoners.

#### *Uitvoeringsfase bewoners*

De bewoners worden na de evaluatiefase door de gemeente geïnformeerd over de maatregelen waarmee zij de grondwateroverlast kunnen bestrijden. De bewoners zijn niet verplicht deze maatregelen uit te voeren.



Figuur 5.1: Oplossingssystematiek grondwateroverlast



#### *Kanttekeningen bij het schema*

- De door de gemeente aangelegde horizontale drainage wordt voor een zo effectief mogelijk werking zo dicht mogelijk bij de gevel van de woning op het openbare terrein aangelegd.
- In het geval de door de gemeente aangelegde horizontale drainage niet effectief is voor bewoners, leggen de bewoners horizontale drainage aan (uitgezonderd in veengebieden).
- Bouwtechnische maatregelen zijn uitermate effectief. Mocht na het uitvoeren van een bouwtechnische maatregel de overlast niet verdwijnen, dan is of een verkeerde diagnose gesteld of is de maatregel niet goed uitgevoerd.
- De bewoners wordt aangeraden een goede diagnose te laten uitvoeren. Een subsidie zou hiervoor in het leven geroepen kunnen worden zodat ze een deskundige kunnen inschakelen. Een alternatief is de ondersteuning vanuit een op te zetten waterloket van de gemeente.
- Blijft de tuin onbegaanbare nadat de bewoner drainage heeft aangelegd dan kan de bewoner overgaan tot de aanleg van extra horizontale drainage of, in het geval van een wegzijgingssituatie, de aanleg van verticale drainage.
- De gemeente reikt de bewoners informatie over de mogelijke bouwtechnische en hydrologische maatregelen.
- De zorgplicht houdt in dat de gemeente op de perceelgrens de bewoners de mogelijkheid moet bieden om hun overvloedige water af te voeren. In dit onderzoek wordt aangenomen dat de gemeente dientengevolge moet overgaan tot de aanleg van horizontale drainage. De gemeente kan echter ook overgaan op het aanleggen van een gesloten afvoerbuis dan wel aansluiten op het regenwaterriool van een gewoon gescheiden stelsel. Hiermee worden de bewoners echter minder tegemoet gekomen.
- Met behulp van horizontale drainage kan altijd de optimale grondwaterstand worden bereikt. In sommige gebieden mag de huidige grondwaterstand niet lager dan historische grondwaterstand komen om zakkingen of inklinking en oxidatie van veen te voorkomen. In dit geval worden bouwtechnische maatregelen aangeraden.
- Het gehele proces om de grondwateroverlast te bestrijden kost veel tijd. Een goede voorlichting aan de bewoners om klachten te voorkomen is noodzakelijk.

▪

## 6 Case studie Delft

De in het vorige hoofdstuk beschreven systematiek wordt vergeleken met de systematiek die is toegepast door Gemeente Delft. Deze gemeente voert diverse maatregelen om de wateroverlast te bestrijden uit. Omdat de Gemeente Delft tot het consortium behoort, wordt de case studie hier uitgevoerd. De studie begint met een analyse van de grondwateroverlast; daarna wordt de hydrologische opbouw van het gebied beschreven. Tot slot wordt de in hoofdstuk 5 beschreven systematiek vergeleken met de aanpak van Gemeente Delft.

### 6.1 Probleemanalyse

De voor dit hoofdstuk gebruikte informatie is voornamelijk afkomstig uit het onderzoek *Uitwerken maatregelen grondwateroverlast Binnenstad Delft* (2002) dat in opdracht van Gemeente Delft is uitgevoerd. De case zal zich richten op het onderstaande plangebied (zie figuur 6.1).



Figuur 6.1: Plangebied gemeente Delft

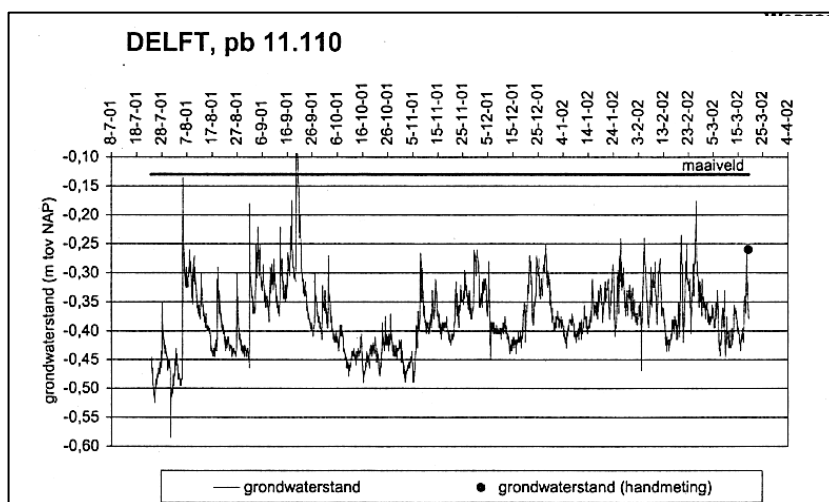
In het plangebied van de gemeente Delft hebben de woningen in de straten Rietveld, Vrouw Jutteland, Vlamingstraat, Het Raam, Oost Plantsoen en de Oosterstraat grondwateroverlast. In het probleemgebied zijn alle facetten van grondwateroverlast aanwezig: optrekkend vocht, schade aan de wegen, onbegaanbare tuinen en vochttransport van de kruipruimte naar de woning. De oorzaken van de grondwateroverlast zijn met name gelegen in de geringe ontwateringsdiepte en de slechte bouwkundige staat van de woningen. De geringe ontwateringsdiepte is een gevolg van bijvoorbeeld bodemdaling en de vervanging van rioleringen. In de toekomst zou de grondwateroverlast zelfs nog kunnen verergeren door de mogelijke stopzetting van de grondwateronttrekkingen door DSM Gist. De volgende actoren zijn betrokken bij de grondwateroverlast in Delft:

- Bewoners van het plangebied;
- Gemeente Delft;
- Hoogheemraadschap Delfland;
- Provincie Zuid-Holland;
- DSM Gist.

### Bewonersplatform Binnenstad Noord

Het Bewonersplatform Binnenstad Noord (BBN) is sinds 1974 actief in de noordelijke binnenstad van Delft. De meeste leden van het bewonersplatform bezitten een eigen huis, dat gunstig gelegen is ten opzichte van het centrum. Ook hebben de meeste woningen ruime tuinen. De grondwaterstanden in het plangebied zijn echter erg hoog: op sommige plaatsen staat de grondwaterstand soms 10 cm onder het maaiveld (zie figuur 6.2). Hierdoor kunnen woningen die op bakstenen funderingen gebouwd zijn last hebben van optrekkend vocht. Ook heeft een aantal woningen last van vochttransport van de kruipruimte naar de woning. De meeste bewoners hebben al diverse maatregelen genomen: het injecteren van bouwmuren, het aanleggen van drainage in de tuin, het dichtstorten van de kruipruimte en het aanleggen van betonnen vloeren. Zij wilden niet meer wachten op maatregelen van de gemeente. De meeste bewoners zijn redelijk tevreden over de maatregelen die ze zelf hebben genomen.

In het gebied spelen ook nog andere waterproblemen. De grachten maken deel uit van de Delflandse boezem. Het peil in de boezem kan bij hevige regenval snel stijgen. Hierdoor kunnen de grachten in het plangebied overstromen, waardoor water de huizen in kan stromen. Een ander probleem bij hevige regenval is het onvoldoende functioneren van het rioleringsstelsel. De meeste bewoners maken geen onderscheid tussen deze vormen van wateroverlast en de grondwaterproblematiek. Zodoende verwijten ze de gemeente – soms ten onrechte – laksheid en zijn ze ontevreden. Met het oog op de toekomst blijft het bewonersplatform erg betrokken bij de grondwateroverlast. Zij vrezen een verslechtering van de situatie door bijvoorbeeld de stopzetting van grondwateronttrekkingen van DSM Gist, meer warmte-koude opslag, ondergrondse parkeerplaatsen en een verdere daling van het maaiveld. De bewoners willen dat de huidige situatie ook in de toekomst niet verslechtert, ze verwachten van de gemeente een garantie voor de komende dertig jaar.



Figuur 6.2: Peilbuis ter plaatse van Rietveld

### Gemeente Delft

Gemeente Delft is erg betrokken bij grondwateroverlast. Op dit moment heeft de gemeente meerdere projecten en studies uitgevoerd naar bijvoorbeeld bodemdaling en maatregelen ter bestrijding van grondwateroverlast die in de binnenstad genomen kunnen worden. Ook heeft de gemeente de beschikking over een peilbuisennetwerk waarmee de grondwaterstanden in de gehele binnenstad gemeten kunnen worden.

Het collegeprogramma van Gemeente Delft, genaamd *Voorzetten en doorzetten*, noemt de beheersing van de toenemende waterproblematiek zeer belangrijk, zowel voor de

korte als de lange termijn. Op korte termijn wil de gemeente concreet de verdere aanpak van de grondwateroverlast vastleggen en starten met de uitvoering. Eén van de doelstellingen is dat in 2006 de grond- en oppervlaktewateroverlast in de meeste delen van de stad voor langere termijn zijn opgelost. De drainage die begin 2005 is aangelegd in het plangebied draagt bij aan deze doelstelling.

#### *Hoogheemraadschap Delfland*

Het Hoogheemraadschap van Delfland is zowel waterkwantiteits- als waterkwaliteitsbeheerder. Delfland heeft geen formele grondwaterbeheerstaken in het stedelijk gebied. In het waterbeheersplan 1999 - 2003 van Hoogheemraadschap Delfland wordt een passage over grondwaterbeheer uit *De Vierde Nota Waterhuishouding* aangehaald, waarin voorgesteld wordt om een deel van het operationele grondwaterbeheer bij de waterschappen neer te leggen. Een eventuele overdracht van het grondwaterbeheer zou volgens het Hoogheemraadschap in overleg dienen te gebeuren. Tevens dient deze gebaseerd te zijn op de regionale situatie, waarbij doelmatigheidscriteria een rol spelen. Ook in de notitie *Water is Overal* van de Unie van Waterschappen (UvW) wordt de sterke verwevenheid tussen het oppervlaktewaterbeheer en grondwaterbeheer benadrukt.

Delfland heeft vergevorderde plannen om de binnenstad van Delft af te sluiten van de boezem (zie figuur 6.3 en figuur 6.4). Voordelen hiervan zijn dat het overstromingsrisico van de grachten afneemt en dat de oppervlaktewaterstand verlaagd zou kunnen worden. Een nadeel van het afsluiten van de binnenstad is dat hierdoor waterkwaliteitsproblemen kunnen optreden vanwege de slechte doorstroming van de grachten.



Figuur 6.3: Tijdelijke afsluitconstructie bij de Schie



Figuur 6.4: Tijdelijke afsluitconstructie Rietveld

#### *Provincie Zuid-Holland*

De provincie beheert het grondwater op grond van de Grondwaterwet. De provincie is slechts passief grondwaterbeheerder en houdt zich niet bezig met actieve grondwaterzorg. Onder het passief grondwaterbeheer wordt vergunningverlening voor en registratie van onttrekkingen en infiltraties verstaan. De beleidsvoornemens voor het grondwaterbeheer van de provincie staan in het Grondwaterbeheersplan Zuid-Holland 2001-2005. De provincie wil zorgen voor voldoende grondwater met een kwaliteit die geschikt is voor alle functies die ervan afhankelijk zijn. De grondwaterhuishouding moet duurzaam en evenwichtig zijn, zodat het beschikbare grondwater juist wordt verdeeld en de kwaliteit gewaarborgd blijft. De hoofdlijnen van het grondwaterbeleid in Zuid-Holland staan beschreven in Het Beleidsplan Milieu en Water. Het Grondwaterbeheersplan werkt dit beleid uit voorzover de Grondwaterwet dit voorschrijft. Het plan geeft dus geen totaaloverzicht van het grondwaterbeheer in Zuid-Holland. Wel komen



raakvlakken met andere beleidsvelden aan de orde, zoals de kwaliteit van het grondwater. Daarnaast geeft het plan het toetsingskader voor het verlenen van vergunningen en voor andere werkzaamheden in het kader van de Grondwaterwet weer. Het plan geeft de kaders voor een samenhangend, systematisch en doelmatig beleid, dat goed is afgestemd op andere relevante beleidsvelden. Ook de provincie heeft geen wettelijk taak voor het realiseren of nastreven van een bepaald grondwaterpeil, net zo min als de gemeente en het waterschap die wettelijke taak hebben. Wel is de bepaling en vaststelling van het GGOR – het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime – in De Vierde Nota Waterhuishouding door het Rijk genoemd als taak voor de provincies. Het GGOR wordt gezien als een gemeenschappelijke doelstelling voor het waterbeheer. Het opstellen van een GGOR van een beheersgebied is niet alleen een technisch maar ook een bestuurlijk proces. In de praktijk blijkt het in stedelijk gebied lastig om een GGOR te bepalen. De provincie heeft het instrument GGOR tot nu toe dan ook niet opgepakt.

#### *DSM Gist*

Sinds 1916 wordt door DSM Gist aan de westzijde van de binnenstad grondwater onttrokken ten behoeve van de koeling van industriële processen. DSM Gist onttrekt momenteel in Delft circa 13,5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar uit het eerste watervoerende pakket. Deze grondwateronttrekking heeft grote invloed op de stijghoogte van het diepe en ondiepe grondwater. De gevolgen van de grondwateronttrekking in het eerste watervoerende pakket zijn versterkte bodemdaling, afname van kwel met zout grondwater en toename van wegzijging van het oppervlaktewater. In 1999 heeft onderzoek aangetoond dat het beëindigen van de grondwaterwinning resulteert in een stijging van het freatisch grondwaterpakket van 0,05 tot 0,5 meter, zowel in Delft als in de omgeving. Door het beëindigen van de grondwateronttrekking neemt de kans op (grond)wateroverlast dus toe.

## **6.2 Hydrologische opbouw plangebied**

### **6.2.1 Bodemopbouw**

In het plangebied worden van boven naar beneden de volgende lagen onderscheiden:

- Freatisch pakket;
- Het afdekkend pakket;
- Het eerste watervoerende pakket;
- De eerste scheidende laag.

#### Freatisch pakket

Het bovenste watervoerende pakket wordt gevormd door het ophoogpakket. De dikte van het bovenste watervoerend pakket ter plaatse van de wegcunetten is ongeveer 1,15 m. Deze laag heeft bij lage freatische grondwaterstanden nauwelijks een watervoerende functie. De doorlatendheid van het bovenste watervoerend pakket is 2,0 m/dag. De bovenste meter van de ophooglaag, ter plaatse van de wegcunetten, bestaat voornamelijk uit goed doorlatende, matig fijne tot matig grove zanden, waarin veel puin voorkomt. Onder deze bodemlaag worden slecht doorlatende klei- of kleiige zandlagen aangetroffen. Ook in deze bodemlagen komt puin voor. De begrenzing tussen de ophooglaag en de hieronder liggende veen-, klei- en zandlagen is op basis van de beschikbare gegevens niet overal duidelijk vast te stellen.

#### Het afdekkend pakket

Het afdekkend pakket wordt gevormd door de afgezette veen-, klei en (ingesloten) zandlagen. Het onderste gedeelte van de ophooglaag wordt eveneens tot het afdekkend pakket gerekend. In dit gedeelte van de ophooglaag (gemiddeld circa 0,25 m dik) worden in de door Wareco uitgevoerde grondboringen slecht doorlatende en puinhoudende klei- of kleiige zandlagen aangetroffen. De kleilagen zijn vooral in de bovenste 4,0 à 12,0 m van dit grondpakket zandig.

In het pakket komen ook fijne slibhoudende, zandige lagen voor. De laterale verspreiding van deze in het pakket ingesloten zandlagen is op basis van de huidige gegevens weer te geven. Bij toenemende diepte komt steeds meer veen in het bodemprofiel voor. De basis van het Holocene grondpakket, op een diepte van circa NAP -20,0 meter, wordt in het onderzoeksgebied veelal gevormd door basisveen. Plaatselijk kunnen aan de onderzijde van het pakket tijdens vroeg-Holocene tijdperk zandige afzettingen hebben plaatsgevonden.

#### Het eerste watervoerende pakket

Het eerste watervoerende pakket bestaat uit grove grindhoudende en incidenteel schelphoudende zanden. Ook de zanden die gedurende de eerste periode van het Holocene tijdperk op de Pleistocene zandlagen zijn afgezet, worden tot het eerste watervoerend pakket gerekend. De dikte van het eerste watervoerende pakket ter plaatse van de binnenstad is ongeveer 20,0 m. De basis bevindt zich derhalve op een niveau van NAP -40,0 m. Voor het doorlaatvermogen van het eerste watervoerende pakket worden in de literatuur waarden van 1000 tot 2000 m<sup>2</sup>/etmaal aangegeven.

#### Grove zanden

Aan het einde van de Pleistocene periode kunnen plaatselijk in het onderzoeksgebied kleilagen zijn afgezet aan de bovenzijde van het pakket. De onderzijde van de genoemde Pleistocene grove zandlaag bevindt zich op een diepte van circa NAP -40,0 m.

#### De eerste scheidende laag

Deze laag wordt gevormd door tijdens het Pleistoceen afgezette slibhoudende, kleiige en venige afzettingen. De dikte van dit pakket varieert van enkele meters tot circa 50,0 m. Van de hydraulische weerstand van de laag zijn nagenoeg geen gegevens beschikbaar. Wel is bekend dat de hydraulische weerstand vele malen kleiner is dan de hydraulische weerstand van het afdekkend pakket ter plaatse van het onderzoeksgebied. De c-waarde wordt geschat op circa 1000 tot 3000 dagen. De top van de eerste scheidende laag wordt voor dit onderzoek derhalve als basis van het geohydrologische systeem aangehouden.

### **6.2.2 Grondwatersysteem**

De grondwaterstand in het plangebied wordt beïnvloed door de grondwateronttrekkingen van DSM Gist. Geconcludeerd wordt dat in het plangebied sprake is van wegzijging van freatisch grondwater naar het eerste watervoerend pakket. Bij een weerstand van het afdekkend pakket van 35.000 dagen bedraagt de wegzijging in de zomer ongeveer 0,23 mm/etmaal en in de winter ongeveer 0,16 mm/etmaal. Bij een geschatte weerstand van 25.000 dagen wordt deze wegzijging gesteld op respectievelijk 0,32 mm/etmaal en 0,22 mm/etmaal.

### **6.3 Maatregelen**

Het onderzoek Uitwerken maatregelen grondwateroverlast beschrijft de mogelijke grondwatertechnische maatregelen ter bestrijding van grondwateroverlast. Uit de vergelijking van de maatregelen wordt geconcludeerd dat de aanleg van horizontale drainage in combinatie met bouwtechnischemaatregelen de meest geschikte maatregel is.

Aangegeven wordt dat indien de bewoners last hebben van vochttransport vanuit de kruipruimte naar de woning, de vloer vervangen dient te worden door een betonnen vloer. Indien de bewoners last hebben van optrekkend vocht, worden chemische en mechanische maatregelen aanbevolen. De meeste bewoners hebben zelf al bouwtechnischemaatregelen genomen. De meeste bouwtechnischemaatregelen hebben echter een ander dan het beoogde effect. Het Hoogheemraadschap Delfland sluit de binnenstad van de boezem door het plaatsen van waterkeringen en gemalen.

## 6.4 Vergelijking van aanpak

De in hoofdstuk 5 beschreven systematiek wordt in deze paragraaf vergeleken met de aanpak van Gemeente Delft. De verschillende fasen die onderscheiden zijn in hoofdstuk 5 worden vergeleken.

### *Inventarisatiefase*

De inventarisatiefase van gemeente Delft komt bijna geheel overeen met de in dit afstudeeronderzoek voorgestelde systematiek. Ook het monitoren van de overlast in de huidige situatie wordt aanbevolen. De samenwerking tussen de bewoners en de gemeente bij het opstellen van de plannen wordt ook als positief ervaren.

### *Ontwerpfase*

In de ontwerpfase komt een verschil in systematiek naar voren. In deze fase worden door de gemeente Delft de verschillende grondwatertechnische maatregelen onderzocht en afgewogen. In de voorgestelde systematiek wordt direct overgegaan tot de aanzet om drainage aan te gaan leggen.

In tegenstelling tot hetgeen wij reeds eerder voorstelden, meent de Gemeente Delft dat het niet haalbaar is drainage door bewoners zelf aan te leggen. De gemeente Delft acht het aanleggen van drainage op het particuliere achterterrein alleen doelmatig wanneer aan de volgende drie eisen wordt voldaan:

1. Bereidheid tot het nemen bij minstens drie aaneengesloten panden;
2. Alle drie de panden hebben een kruipruimte met een grofzandige toplaag (minimaal 20 cm dik);
3. Via de brandpaden kan een koppeling naar de drainage op openbaar terrein gemaakt worden.

Aangezien geen enkele locatie in het plangebied voldoet aan deze doelmatigheidseisen, is men tot de conclusie gekomen dat het aanleggen van collectieve drainage op het particuliere achterterrein in het onderzoeksgebied niet doelmatig is. Hierbij worden met name de collectieve haalbaarheid en de aanwezigheid van tuinmuren en diverse aanbouwen als knelpunten gezien. Bij deze conclusie echter wordt voorbijgegaan aan het feit dat de aanleg van deze drainage de twee verschillende grondwateroverlast systemen kan bestrijden, hetgeen wellicht zou kunnen opwegen tegen de nadelen die de gemeente schetst.

Net zoals de in dit onderzoek voorgestelde systematiek, raadt Gemeente Delft de bewoners meerdere bouwtechnische maatregelen aan. Hierbij dient opgemerkt te worden dat niet alle mogelijke bouwtechnischemaatregelen worden genoemd.

### *Uitvoeringsfase*

De uitvoeringsfase van de gemeente is vrijwel identiek aan de voorgestelde systematiek van het huidige onderzoek.

### *Monitoringsfase*

De monitoring van de effectiviteit van de horizontale drainage wordt in beide gevallen aangeraden. Ook wordt in beide gevallen aangeraden de bewoners pas bouwtechnische maatregelen te laten uitvoeren nadat duidelijk is of de drainage effectief is.

### *Evaluatiefase*

De evaluatiefase van de gemeente is vrijwel identiek aan de voorgestelde systematiek van het huidige onderzoek.

### *Uitvoeringsfase bewoners*

Ook de uitvoeringsfase van de bewoners zoals de gemeente deze voorstelt, is vrijwel identiek aan de voorgestelde systematiek van het huidige onderzoek.



## 6.5 Conclusie

Een overeenkomst tussen de aanpak van de Gemeente Delft en de in dit onderzoek voorgestelde systematiek is het startpunt bij de bestrijding van grondwateroverlast. De gemeente is als eerste aanzet om maatregelen uit te voeren. Het monitoren van de effectiviteit van de maatregel komt ook in beide aanpakken terug.

Ook zijn er opvallende verschillen. Volgens het huidige onderzoek impliceert de zorgplicht enkel en alleen de aanleg van horizontale drainage, zonder dat het nodig is dat daarbij de mogelijke maatregelen eerst tegen elkaar afgewogen worden. De Gemeente Delft heeft deze afweging wel gemaakt alvorens zij tot de conclusie is gekomen dat horizontale drainage de enige oplossing is. Daarnaast is er nog een tweede verschil tussen beide aanpakken. Het huidige onderzoek gaat ervan uit dat de bewoner zelf eerst overgaat tot drainage voordat hij bouwtechnische maatregelen gaat uitvoeren. De gemeente acht aanleg van drainage door bewoners geen haalbare oplossing. Nader onderzoek zou de verschillen in effectiviteit en kosten tussen de aanleg van drainage door bewoners en bouwtechnische maatregelen kunnen aantonen.



## 7 Conclusies en aanbevelingen

Bij de aanvang van dit onderzoek naar de keuze van maatregelen ter bestrijding van grondwateroverlast in bestaand stedelijk gebied hebben we ons een aantal vragen gesteld. De conclusies van het onderzoek zijn dan ook de antwoorden en op en overwegingen bij die vragen. Daarnaast doen we ook een aantal aanbevelingen voor verder onderzoek.

### 7.1 Conclusies

*In welke gebieden treedt grondwateroverlast in bebouwde gebieden op?*

- De overlast treedt in grote delen van Nederland op. Duidelijk is dat deze overlast grotendeels te wijten is aan het bouw- en woonrijp maken of aan de manier van bouwen. In een aantal gevallen heeft het met beide te maken. Veel van de overlastgebieden zijn gesitueerd in de lagere delen van stedelijke gebied.
- Onderscheid wordt gemaakt tussen de volgende gebieden:
  - Gebieden met een slechte doorlatendheid van de ondergrond, bijvoorbeeld rivierengebieden en zeekleigronden;
  - Gebieden met een zettingsgevoelige veenbodem;
  - Gebieden met een sterke relatie tussen het diepe en ondiepe grondwater, bijvoorbeeld poldergebieden;
  - Gebieden met relatief grote hoogteverschillen, bijvoorbeeld beekdalen, duingebieden en stuwwallen.

*In welke soort woningen treedt grondwateroverlast op?*

- Grondwateroverlast treedt op in woningen met grondwater minimaal 20 cm onder de bodem van de kruipruimte. De kruipruimte moet dan in verbinding staan met de woning door kieren en gaten in de vloer. Maar zeker bij de oudere vloersystemen is dat het geval. Ook via het kruipruimteluik, de meterkast en de doorvoeren van leidingen in de keuken en voor de radiatoren is er vrijwel altijd een verbinding.
- Optrekkend vocht in woningen treedt op als de poreuze gemetselde fundering in contact staat met het capillaire grondwater. Ook dient de bakstenen muur geen trasraam of een andere barrière te bevatten.
- Optrekkend vocht en een vochtige woning kunnen ook andere oorzaken hebben, zoals doorslaand vocht en lekkages.

*Welke bouwtechnische maatregelen tegen grondwateroverlast zijn mogelijk?*

- Onderzocht zijn de volgende maatregelen tegen natte kruipruimten: bodemfolies, schuimbeton, purschuim, schelpen in de kruipruimte en geëxpandeerde kleikorrels.
- Onderzocht zijn de volgende maatregelen tegen optrekkend vocht: de keggenmethode, plaatsen van een loden slab, boorkern methode, chroomstalen platen, porievullende chemische middelen en waterafstotende chemische middelen en elektro-osmose, droogpijpjes
- Niet alle bouwtechnische maatregelen zijn effectief. Dit is vooral afhankelijk van het soort materiaal in funderingen, vloeren en muren.
- Het injecteren van muren met een porievullend middel heeft geen levenslange werking en is minder effectief.
- Het injecteren van muren met een waterafstotend middel is wel effectief.
- De werking van schelpen in de kruipruimte is onduidelijk.
- De dure mechanische onderbreking is uitermate effectief.
- Folies zijn uitermate effectief ter bestrijding van vochttransport van de kruipruimte naar de woning

- Wanneer bouwtechnische maatregelen deugdelijk toegepast worden, zou de grondwateroverlast in de woning geheel opgelost kunnen worden.

### *Welke hydrologische maatregelen tegen grondwateroverlast zijn mogelijk?*

- Het gebruik van een pomp door bewoners wordt afgeraden. Het vochtprobleem wordt er niet door opgelost.
- Horizontale drainage, onder en rond de woning is, indien sprake is van een voldoende dik en doorlatend ophoogpakket, bijzonder effectief.
- De effectiviteit van horizontale drainage dient gemeten te worden. Dit kan door het plaatsen van peilbuizen in de woonwijk en door vochtigheidsmetingen te verrichten in de woning. Door het plaatsen en monitoren van peilbuizen kan ook worden bepaald of het systeem onderhoud nodig heeft.
- Actieve verticale onttrekking heeft alleen effect in een goed doorlatend freatisch pakket.
- Het verlagen van het oppervlaktewaterpeil is een maatregel die ingrijpend is voor de omgeving. Wil de maatregel effectief zijn, dan zal de verlaging van het oppervlaktewaterpeil aanzienlijk moeten zijn. Vanwege de grote verlaging zullen meestal meerdere aanpassingen aan het watersysteem moeten worden uitgevoerd. Dit is vaak erg kostbaar en hierdoor dus niet effectief.
- Omdat met stationaire berekeningen gewerkt wordt, zijn de berekeningen voor de dimensionering van grondwatertechnische maatregelen niet nauwkeurig. Daarnaast is de bodem in stedelijk gebied meestal erg heterogeen, waardoor de berekeningen ook minder nauwkeurig zijn. Als gevolg van deze heterogeniteit biedt het werken met niet-stationaire berekeningen geen oplossing. Effectiever is het om te gaan meten of de genomen maatregelen wel voldoende effect sorteren; zo niet, dan kunnen aanvullende maatregelen nodig zijn.

### *Welke criteria worden er gebruikt om de technische maatregelen afweegbaar te maken?*

- De effectiviteit van de hydrologische maatregelen kan niet gekwantificeerd worden. Een onderscheid wordt gemaakt tussen de effectiviteit van de maatregel voor de gemeente en voor de bewoner. Een maatregel is voor de gemeente effectief als op het openbare terrein de gewenste grondwaterstand wordt bereikt. Ook dient de maatregel te voldoen aan de zorgplicht.
- De aanleg van horizontale drainage is de enige maatregel die goed aansluit bij de zorgplicht van de gemeente. De gemeente kan op deze manier haar eigen probleem oplossen en het overtollige grondwater van het perceel van de bewoner ontvangen en afvoeren. Een verdere afweging van de maatregelen is dan voor het openbare terrein niet meer noodzakelijk.
- Voor de afweging van de maatregelen op het particuliere perceel kunnen de criteria kosten, effectiviteit, levensduur, flexibiliteit en onderhoud gebruikt worden. In hoofdstuk 3 wordt per maatregel hier aandacht aan besteed.

### *In hoeverre voldoen de verschillende maatregelen aan deze criteria?*

- De gemeente zal als eerste maatregelen in het openbare terrein nemen omdat deze grootschalig zijn. Men gaat over tot het aanleggen van horizontale drainage.
- In het geval die maatregel voor de bewoners niet effectief is, kunnen zij ook het beste overgaan tot de aanleg van drainage. Alleen in veengebieden is dat geen oplossing. Mocht hierna de overlast nog steeds niet verholpen zijn, dan kan overgegaan worden tot het uitvoeren van bouwtechnische maatregelen. Ook in het geval de aanleg van horizontale drainage niet mogelijk is door bijvoorbeeld ruimtegebrek kan gekozen worden voor bouwtechnische maatregelen.

- Het actief onttrekken van grondwater is een goede maatregel in het geval een grondwateronttrekking stopgezet wordt. Door het plaatsen van onttrekkingsputten zou eventueel bestaande overlast ook opgelost kunnen worden. Wel dient in dat geval nog rekening gehouden te worden met de zorgplicht. De lozing van het opgepompte water – dan wel het gebruik ervan – is vaak een groot probleem.

## 7.2 Aanbevelingen

### *Aanbevelingen gemeente*

- De gemeente dient een digitaal of interactief waterloket te openen. Het waterloket kan de bewoners informatie over geschikte bouwtechnische maatregelen aanbieden. Zodoende heeft de burger zelf een betere kennis over de geschikte bouwtechnische maatregelen en zijn zij niet alleen afhankelijk van de “kennis” van een aannemer.
- Voor het bouw- en woonrijp maken van terreinen zouden strakke regels moeten worden ingevoerd waardoor minder fouten gemaakt worden tijdens deze fase. Ook zouden betere rekenmodellen toegepast kunnen worden om de terreinen beter bouw- en woonrijp te maken. Hierdoor zal toekomstige grondwateroverlast voorkomen kunnen worden.

### *Aanbevelingen bewoners*

- Bewoners zouden bij het ervaren van grondwateroverlast eerst de aanleg van drainage moeten overwegen. Door de aanleg van drainage kan de bewoner optrekkend vocht, natte kruipruimten en natte tuinen bestrijden. Deze problemen apart bestrijden, zou duurder en minder effectief kunnen zijn. De bewoners dienen wel geïnformeerd te worden over het gevaar van eventuele zettingen.
- Burgers zouden bij de aankoop van een woning geïnformeerd moeten worden over de reeds genomen maatregelen tegen grondwateroverlast of eventuele toekomstige problemen.

### *Aanbevelingen voor nader onderzoek*

- Nader onderzoek kan meer duidelijkheid scheppen over de levensduur en duurzaamheid van maatregelen zoals schelpen in de kruipruimte. Deze maatregel wordt op dit moment vaak toegepast. Als blijkt dat onder bepaalde omstandigheden de schelpen na tien jaar degraderen tot een natte pap en hierdoor hun dampremmende functie verliezen, worden bewoners geconfronteerd met een grote schadepost. Dit zou vermeden kunnen worden door verder onderzoek.
- Wij raden aan om duidelijk te maken dat ontwateringsberekeningen geen zekerheid bieden over de hoogte van de grondwaterstanden in stedelijk gebied. Om de ontwateringsdiepte niet te overschrijden, kunnen bijvoorbeeld risicofactoren worden gebruikt. Ook kunnen nieuwe rekenmodellen ontwikkeld worden voor het dimensioneren van hydrologische maatregelen in stedelijk gebied.
- Door onderzoek te verrichten naar de hoogte van de kosten die de gezondheidsklachten als gevolg van te hoge grondwaterstanden met zich meebrengen, kunnen de verschillende overheden overtuigd raken van de noodzaak om de grondwaterproblematiek op te lossen.

## 7.3 Slot

### *Toepasbaarheid van de voorgestelde systematiek*

In dit onderzoek wordt vooral een technische oplossing voor grondwateroverlast gegeven. Bestuurlijke en financiële verantwoordelijkheden zijn hierbij niet uitvoerig in beschouwing genomen. Wanneer deze verantwoordelijkheden van de verschillende partijen vastgelegd zouden worden, kan de in hoofdstuk vijf voorgestelde systematiek in de praktijk toegepast worden.

Vanuit het toekomstige waterloket kunnen bewoners voorgelicht worden omtrent de in hoofdstuk drie beschreven maatregelen tegen vochtoverlast in de woning. De in hoofdstuk 5 voorgestelde systematiek zou door de gemeenten gebruikt kunnen worden om tot een aanpak van de problematiek te komen.

Tijdens de door Tauw georganiseerde workshop met het consortium (6 juni 2005) geven de verschillende partijen aan dat zij de onduidelijkheid over de verantwoordelijkheden van de verschillende partijen op dit moment als grootste obstakel zien om te komen tot een oplossing. Zij geven ook te kennen dat zij vertrouwen dat de overlast opgelost kan worden met technische maatregelen.

#### *Samenhang met niet behandelde dimensies van het probleem*

Samenhang met niet behandelde dimensies van het probleem

De in dit onderzoek omschreven systematiek om tot een oplossing van de grondwateroverlast te komen is vooral gebaseerd op technische aspecten. Bij de oplossing van de grondwaterproblematiek spelen echter ook andere dan technische aspecten een grote rol. Eén daarvan is de vastlegging van verantwoordelijkheden van de verschillende partijen in wetgeving. We verwachten dat de invoering van de Integrale Waterwet in 2006 hiervoor een oplossing biedt. Helaas zijn we hiermee nog niet geheel tot de oplossing van de problematiek gekomen. Immers, deze wetgeving houdt alleen een aanwijzing van verantwoordelijkheden in, maar biedt nog geen oplossingsystematiek. Dat wil zeggen: het samenspel van partijen wordt in deze wet nog niet voorgeschreven. Het huidige onderzoek biedt hiertoe een aanzet, maar dit is vooral een technische aanzet. Praktijkonderzoek kan dit samenspel eenduidiger in beeld brengen.

In het huidige onderzoek is ook niet ingegaan op de schade die door de bewoners en overheden wordt geleden door de grondwateroverlast. KPMG en Grontmij (2001) hebben hier een aanzet toe gegeven, maar zijn hierin slechts ten dele geslaagd. Wanneer de politiek een duidelijk beeld van de schade geschetst krijgt, zou zij geneigd kunnen zijn eerder met financiële middelen te komen.

Ook gaan we in het huidige onderzoek nauwelijks in op de rol van de aannemers. Omdat een deel van de grondwateroverlast veroorzaakt wordt door het slecht bouw- en woonrijp maken van terreinen, is het van groot belang dat aannemers in de toekomst zorgvuldig te werk gaan (Biron, 2004). Daarom zouden zij betrokken dienen te worden in het proces van de bestrijding van grondwateroverlast.

In hoofdstuk twee zijn we kort ingegaan op de rol van de perceptie van bewoners. Onduidelijk is nog op welk moment de bewoner bereid is tot het nemen van maatregelen tegen de overlast. Daarbij speelt de ernst van de overlast een rol, maar zeker ook de rol van de gemeente. Een vraag die hierbij rijst is of de bewoner eerder bereid is tot maatregelen over te gaan wanneer de gemeente als eerste over de brug komt met maatregelen. Nader onderzoek zou hier antwoord op kunnen geven.

## Bijlage 1

### Literatuurlijst

Beplanting in relatie met een hoge grondwaterstand. Amsterdam: Ingenieursbureau Amsterdam, januari 1992.

Grondwateroverlast in het stedelijk gebied, een bestuurlijk-juridisch en technische analyse als basis voor een structurele aanpak van een al jaren spelend vraagstuk, KPMG/Grontmij, februari 2001.

Grondwateroverlast Wassenaar, Het probleem, de oorzaken en de oplossingen, deelrapport 2 Amersfoort: Werkgroep Grondwateroverlast Wassenaar. 3 juni 2002.

Samen leven met grondwater, Visie op het voorkomen en oplossen van stedelijke grondwaterproblemen, CIW-projectgroep 'Grondwater in de stedelijke leefomgeving', februari 2004.

Voorbeeld-maatregelennota, bestrijding grondwateroverlast stedelijke gebieden; proefproject Roosendaal. Heidemij Advies en TU Delft, 1993.

Waterplan Amsterdam, Leven met grondwater. Amsterdam: Gemeente Amsterdam, januari 2002.

Uitwerken maatregelen grondwateroverlast Binnenstad Delft. Diemen: Wareco Amsterdam bv., 2002.

Adan, O.C.G., J.E.F. van Dongen, W.F. de Gids, Handboek Vocht en Ventilatie: Basis voor Ontwerp, Uitvoering en Beheer. Rotterdam: samenwerkingsverband instituut voor studie en stimulering van onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties en Stichting Bouwresearch, 2000.

Beenen, A.S., Grondwaterproblemen in de woonomgeving: oorzaken en oplossingen. Delft: Technische Universiteit Delft, Vakgroep gezondheidstechniek en Waterbeheersing ; Delft: Wetenschapswinkel, januari 1992.

Biron, D.J., Beter bouw- en woonrijp maken: Een verkennend onderzoek naar het bouw- en woonrijp maken in de Nederlandse praktijk en de problematiek rondom wateroverlast op de bouwplaats. Delft: Technische Universiteit Delft, januari 2004.

Brouwer, R., Dictaat Waterbeheersing. Delft: Technische universiteit Delft faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Vakgroep Watermanagement Sectie Land- en waterbeheer, februari 2000.

Castenmiller, C.J.J., J.C. van Es, Maatregelen in kruipruimten: thermische en hygrische afscherming: meet- en beoordelingsrichtlijn. Rotterdam: Stichting Bouwresearch (SBR-richtlijn 4), 1993.

Dirksen, J., Oriënterend onderzoek naar de relatie tussen schade aan wegen en de ontwateringsdiepte. Amsterdam: Ingenieursbureau Amsterdam, december 1991.

---

Fischer, P., A.P. Verhoeff, Vochtigheid van woningen: Een vergelijkend onderzoek van 3 vochtclassificatie methoden, in relatie tot levensvatbare schimmeldelen in de binnen lucht, gaunine-concentraties in huisstof, EPS-antigenen in binnenlucht, en EPS-antilichamen in serum. Wageningen: Landbouwniversiteit Wageningen Vakgroep Luchthygiëne en verontreiniging/Vakgroep Gezondheidsleer, maart 1989.

Fraanje, P., Schelpen onder de vloer. Amsterdam: IVAM Environmental Research, Universiteit van Amsterdam, juni 1999.

Geldof, G.D, Maatregelen tegen grondwateroverlast. Deventer: Tauw Infra Consults bv en Ministerie van Verkeer en Waterstaat, maart 1992.

Hees, R.P.J. van, C.J.J. Castenmiller, Vochtproblemen in bestaande woningen. Rotterdam: Stichting Bouwresearch (SBR-publicatie: 265), 1992.

Hees, R.P.J. van, J.A.G. Koek, Optrekkend vocht; handleiding voor de bestrijding. Rotterdam: Stichting Bouwresearch (SBR-publicatie; 372), 1996.

Hengeveld, H., W.A. Segeren, Waterbeheersing van stedelijke gebieden en bouwrijp maken van terreinen (Deel 2). Delft: Technische Hogeschool Delft, afdeling der Civiele Techniek, 1981.

Veen, M.P. van, L.E.M. Crommentuijn, M.P.M. Janssen, A.E.M. de Hollander. Ventilatie en vochtigheid als bepalers van binnenmilieu-kwaliteit. Een studie voor Milieuverkenning 5. Bilthoven: RIVM (rapportnr. 408129018), april 2001.

Ven, F.H.M. van de, Water management in Urban Areas. Delft: Technische universiteit Delft faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Vakgroep Watermanagement Sectie Land- en waterbeheer, februari 2004.

Werf, R. van de, Grondwatervisie Gemeente Delft. Delft: Gemeente Delft, 2005.

### **Artikelen**

Brinkman, J., A. van Twuijver, 'Actieplan; De strijd tegen wateroverlast'. Eigen Huis Magazine, april 2005, p.14 - 17.

Zeijts, T. van, F.H.M. van de Ven, 'Keuze van omhullingsmateriaal bij drainage'. Land en Water, nummer 1/2, 2001.

Zeijts, T. van, F.H.M. van de Ven, 'Geotextielen bij infiltratie? Liever iets beters!'. Land en Water, nummer 3, 2001.

Zeijts, T. van, F.H.M. van de Ven, 'Effect van doorspuiten op werking en levensduur'. Land en Water, nummer 4, 2001.

### **Geraadpleegde websites**

Commissie Integraal Waterbeheer. 15 september 2004. [www.ciw.nl](http://www.ciw.nl).

De Haagse Koepel. 14 oktober 2004. [www.haagsekoepel.nl](http://www.haagsekoepel.nl).

Bewonersplatform Binnenstad Noord. 1 september 2004. [www.binnenstadnoord.nl](http://www.binnenstadnoord.nl).

---



## Bijlage 2

### ICES/KIS Projectorganisatie en onderzoekskader

#### Consortium

Vanwege de betrokkenheid van verschillende partijen met grondwateroverlast is een breed consortium opgericht. Het consortium bestaat uit de volgende partijen:

- Bewonersplatform Binnenstad Noord;
- Technische Universiteit Delft;
- Tauw bv;
- Hoogheemraadschap van Delfland;
- Gemeente Delft;
- Provincie Zuid-Holland;
- Leden van het Waterpact van Twente \*);
- Gemeente Dordrecht;
- Gemeente Den Haag.

\*) Binnen het samenwerkingsverband Waterpact van Twente participeren de provincie Overijssel, de gemeenten Almelo, Borne, Enschede, Hengelo en Wierden, Waterschap Regge en Dinkel en Vitens.

#### Organisatie

Voor dit project worden twee organen geformeerd:

Een uitvoerend projectteam dat de dagelijkse organisatie en inhoudelijke sturing uitvoert. Het projectteam zal bestaan een vertegenwoordiging van de bewonersplatform Binnenstad Noord (BBN), Technische Universiteit Delft en Tauw bv;

Een begeleidingsgroep die geen directe uitvoerende taken heeft. De begeleidingsgroep adviseert en denkt actief met het projectteam mee. De begeleidingsgroep zal bestaan uit de Gemeente Delft, het hoogheemraadschap Delfland, de provincie Zuid-Holland, enkele vertegenwoordigers van het Waterpact van Twente, de gemeente Dordrecht en de gemeente Den Haag.

Het projectteam voert de dagelijkse leiding en coördineert het project. De voortgang en ontwikkelingen worden regelmatig teruggekoppeld met de leden van de begeleidingsgroep. Op basis van consensus zal worden besloten wel of niet of in aangepaste vorm verder te gaan. Bij voorkeur dient dit tot bindende afspraken te leiden met alle partijen (in de vorm van een convenant). Hierbij zal mede gebruik gemaakt worden van excursies en workshops.

Tijdens de analysefase worden de begeleidingsgroepleden gevraagd haar kennis in te brengen en bestaande beleidsdocumenten over grondwateroverlast naar het projectteam te sturen. Tevens wordt haar gevraagd een second opinion te geven over opgestelde documenten.

De werkzaamheden bestaan enerzijds uit sturing en begeleiding van het proces. De vorm waarop dit precies plaatsvindt, zal in overleg met de partijen worden bepaald. De reeds door de bewonersgroep ingezette benadering (streek- of gebiedsgericht met consensus) zal zo veel mogelijk worden voortgezet. Anderzijds gaat het voor een deel om juridische- en technische uitwerkingen, die op de gebruikelijke wijze (projectmatige basis) worden uitgevoerd. Op twee momenten zal een informatiebijeenkomst worden gehouden voor alle hierboven genoemde betrokken partijen.

---

**Samenstelling projectteam**

Het projectteam zal bestaan uit de volgende personen:

- ir. F. (Frank) Spuij, afdelingshoofd Tauw bv (regio zuidwest)
- ing. J.J. (Jibbe) Poppen, projectmanager Tauw bv (regio zuidwest)
- ing. H. (Harry) Prinsen, projectcoördinator Tauw bv (regio zuidwest)
- ir. A. (André) Oldenkamp, consultant Tauw bv (regio oost)
- dr. ir. F.H.M. (Frans) van de Ven, universitair hoofddocent TU Delft
- ing. J.T. (Joop) Gravesteijn, bewoner BinnenStadNoord te Delft

Daarnaast zullen tevens juristen, adviseurs en experts van TU Delft en Tauw bv werkzaam zijn binnen het project. Een groot deel van de werkzaamheden zullen worden verricht door twee afstudeerders (Mevr. M. Urlings en dhr. L.C.E. van de Winckel) van de TU Delft onder begeleiding van dr.ir. Frans van der Ven.

Binnen het projectteam zal Tauw bv als penvoerder optreden.

**Begeleidingsgroep**

De begeleidingsgroep zal bestaan uit de volgende personen:

- Bewoners BinnenStadNoord te Delft
- ing. R. (René) van der Werf, projectleider Gemeente Delft
- ir. J. (Job) van Dansik, plv. teamleider Waterhuishouding hoogheemraadschap van Delfland
- P. (Pieter-Jan) Hofman, provincie Zuid-Holland
- Vertegenwoordigers van het Waterpact (mogelijk ing. G.H. (Gerdrik) Bruins, waterschap Regge en Dinkel of mevr. P.E. (Liza) de Groot, provincie Overijssel)
- J. (Han) van Eijnsbergen, gemeente Dordrecht
- ir. A.A. (Arthur) Hagen, gemeente Den Haag

**Onderzoekskader**

Het onderzoek wordt uitgevoerd als onderdeel van 'Boven water komen; definitiestudie naar grondwateroverlast in stedelijk gebied', dat weer uitgevoerd wordt in het kader van het subsidieprogramma van het huidige kabinet, de zogenaamde *ICES/KIS 3 Leven met Water*. De ICES/KIS 3- regeling en het onderzoek *Boven water komen* worden in de nu volgende subparagrafen nader verklaard.

**ICES/KIS 3**

Op 28 november 2003 heeft het kabinet op grond van het 'Besluit subsidies investeringen in de kennisinfrastructuur' (Bsik) 800 miljoen euro subsidie toegekend voor 34 verschillende investeringsthema's en drie nog te ontwikkelen projecten. Elk thema wordt weer onderverdeeld in een aantal projecten. Het huidige onderzoek valt onder het project *Leven met water*. De subsidie bedraagt 50% van de projectkosten, kennisinstellingen en bedrijven dragen voor de overige 50% bij.

**Boven water komen**

Voor de definitiestudie naar grondwateroverlast in stedelijk gebied *Boven water komen* is een consortium en een begeleidingsgroep geformeerd. In het consortium zijn de volgende instanties vertegenwoordigd: Bewonersplatform Binnenstad Noord, Technische Universiteit Delft, Tauw bv, Hoogheemraadschap van Delfland, Gemeente Delft, Provincie Zuid-Holland, Leden van het Waterpact van Twente, Gemeente Dordrecht, Gemeente Den Haag. In het onderzoeksvoorstel heeft het consortium aangegeven gezamenlijk een ongebruikelijke denktrant te onderzoeken waarbij invulling wordt gegeven op de volgende vragen:

- Hoe beleeft de bewoner hoge grondwaterstanden?
-

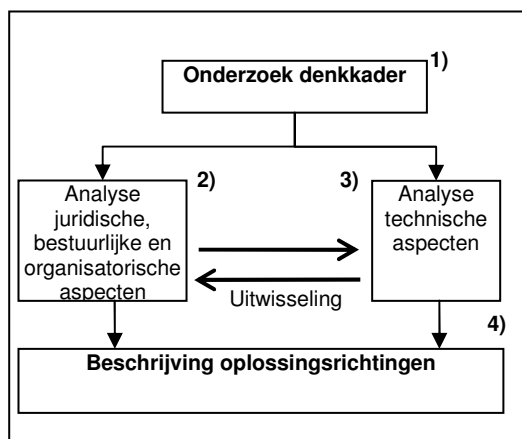
- Wat vindt de bewoner acceptabel?
- Wat is de schade als gevolg van grondwateroverlast?
- Welke schade vindt de bewoner acceptabel?
- Hoe kan de bewoner eventuele schade voorkomen?

Tevens wenst het consortium:

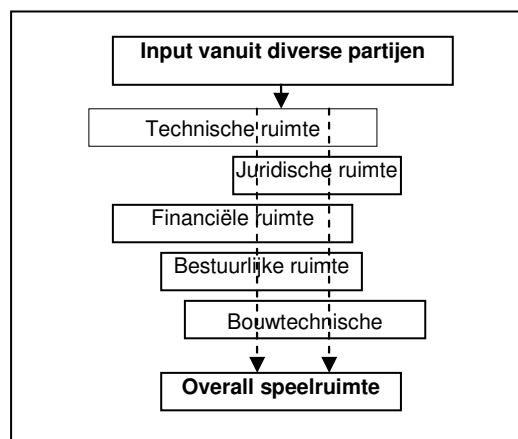
- dat de juridische en bestuurlijke aspecten evenals de technisch inhoudelijke aspecten die samenhangen met grondwateroverlast worden gedefinieerd. Hiermee kunnen bijvoorbeeld conflicten in regelgeving vroegtijdig worden geïdentificeerd.
- oplossingsrichtingen te definiëren waarmee grondwateroverlast op lange termijn (2030) kan worden voorkomen en gereduceerd. Het zou mogelijk kunnen zijn dat een deel van de grondwateroverlast in technische, organisatorische en juridische zin eenvoudig op te lossen is.

Het onderzoek wordt, zoals ook te zien is in figuur B. 1, als volgt opgezet. Ten eerste wordt begonnen met het bepalen van het denkkader (stap 1). Het denkkader zal worden bepaald aan de hand van een aantal interviews met leden van het consortium en een uitgebreide literatuurstudie. Na deze literatuur studie zal een eerste deelstudie gericht zijn op de bestuurlijk-juridische en organisatorische aspecten (stap 2). Doel daarvan is om eigenaren en gebruikers van woningen een overzicht te bieden van door hen uitvoerbare activiteiten die grondwateroverlast in bestaand stedelijk gebied kunnen reduceren en voorkomen. Een tweede deelstudie is gericht op de technisch-inhoudelijke aspecten die samenhangen met grondwateroverlast (stap 3). Dit betreft zowel civieltechnische als bouwtechnische aspecten. In stap 2 en 3 wordt de kennis die van belang is, uitgewisseld.

Het onderzoek wordt afgesloten met een analyse van de juridische, bestuurlijke financiële en technische speelruimte bij het nemen van maatregelen tegen grondwateroverlast (stap 4). Dit wordt geïllustreerd door figuur B. 2. De resultaten zullen worden verspreid onder de leden van het consortium. Het voorliggende onderzoek geeft invulling aan stap 2 van het project *Boven water komen*.



Figuur B. 1: Opzet onderzoek *Boven water komen*



Figuur B. 2: Overall speelruimte



## Bijlage 3

### Definitie grondwateroverlast

Voor het onderzoek is het belangrijk inzichtelijk te maken wat de term grondwateroverlast inhoudt. Om hier inzicht in te krijgen, is een literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn interviews gehouden. Verschillende onderzoeken gebruiken verschillende definities voor het begrip grondwateroverlast. In deze bijlage worden een aantal van deze onderzoeken beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op de interviews die gehouden zijn met leden van het consortium. Hierna wordt een definitie opgesteld voor grondwateroverlast die van toepassing is op dit onderzoek.

### Literatuuronderzoek

*Maatregelen tegen grondwateroverlast (Geldof, 1992)*

In dit rapport wordt een aanzet gegeven tot verheldering van de problematiek en wordt inzicht gegeven in de kosten die gemoeid zijn met de bestrijding van grondwateroverlast. Onderscheid wordt gemaakt tussen grondwateroverlast en vochtoverlast. Het onderzoek besteedt geen aandacht aan vochtoverlast, omdat het veel verschillende oorzaken en oplossingen heeft. In het genoemde rapport worden drie soorten grondwateroverlast onderscheiden:

- Grondwateroverlast in woningen met een kruipruimte:
  - Als gevolg van hoge grondwaterstanden is de relatieve vochtigheid in de kruipruimte vrijwel de gehele winterperiode hoger dan 90%.
  - In de woonruimte is sprake van vocht- en schimmelschade.
- Grondwateroverlast in woningen met een kelder:
  - De grondwaterstanden zijn hoger dan de hoogte van de bodem van de kelder;
  - De kelder is lek of vochtschade ontstaat op de keldermuren.
- Grondwateroverlast rond woningen:
  - Tuinen en achterpaden worden onbegaanbaar;
  - De draagkracht van wegen (straten en opritten) neemt af en ook wordt de kans op schade ten gevolge van opdooi groter;
  - Leidingen zijn moeilijk bereikbaar;
  - De wortels van bomen kunnen worden aangetast;
  - Slechte groeiomstandigheden in tuinen.

Er is nog een essentieel verschil tussen grondwateroverlast in woningen met kelder en grondwateroverlast in woningen met kruipruimten: als een kelder blank staat als gevolg van hoog grondwater, is per definitie sprake van een constructieve fout. Kelders moeten namelijk volgens de bouwvoorschriften waterdicht zijn. Dit is niet het geval bij kruipruimten. Als een woning met kruipruimte geheel volgens de bouwvoorschriften wordt gebouwd, is de kans op grondwateroverlast ten gevolge van hoog grondwater nog steeds aanwezig. *De Model Bouwverordening*, laat water in de kruipruimte toe. Een bodemafsluiting is niet verplicht. Naast ontwateringsnormen voor woningen, zijn ook ontwateringsnormen nodig voor de woonomgeving.

*Grondwaterproblemen in de woonomgeving (Beenen, 1992)*

Dit onderzoek richt zich op de oorzaken en oplossingen van de grondwaterproblematiek. Het onderzoek is bedoeld als leidraad voor degenen die zich willen verdiepen in de stedelijke grondwater- of vochtproblematiek; enerzijds om beter inzicht te krijgen in de mogelijke bronnen die tot bewonersklachten leiden, anderzijds ook om tot een oplossing te komen.

Door een juiste beheersing van de grondwaterstand, kan een groot aantal problemen vermeden worden. Echter niet in alle gevallen zullen vochtproblemen in de woning door een

---

juiste beheersing van de grondwaterstand verdwijnen. Om tot een afdoende oplossing te komen, is een integrale studie naar de oorzaken en de gevolgen van de klachten noodzakelijk. In dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen optrekkend vocht, vochttransport vanuit de kruipruimte, doorslaand vocht en te natte tuinen en parken.

*Grondwateroverlast in het stedelijke gebied (KPMG & Grontmij, 2001)*

In de verkennende studie van KPMG en Grontmij, uitgevoerd in het kader van projectprogramma 'Stedelijk Waterbeheer', wordt geprobeerd de impasse rondom de problematiek van de stedelijke grondwateroverlast te doorbreken. In dit onderzoek wordt de volgende definitie gebruikt voor grondwateroverlast: De situatie waarbij er sprake is van aantasting van de gebruikersfunctie van een perceel door een structureel te geringe ontwateringsdiepte.

Er is sprake van aantasting van de gebruiksfunctie wanneer het normale gebruik wordt belemmerd. Hierbij kan men denken aan vochtige muren en natte kruipruimten (en de problemen die daardoor ontstaan zoals schimmelvorming en een te vochtig binnenhuisklimaat). Ook kan gedacht worden aan te natte tuinen, waardoor slechte groeiomstandigheden voor planten ontstaan. Uiteraard beperkt grondwateroverlast zich niet alleen tot particuliere onroerende zaken. Ook bedrijven en gemeenschappelijke voorzieningen (parken, wegen en speeltuinen) kunnen te maken hebben met grondwateroverlast.

In de definitie van KPMG en Grontmij wordt er bewust vanuit gegaan dat de ontwateringsdiepte structureel te gering moet zijn. Klimatologische omstandigheden, waaronder calamiteiten zoals extreme neerslag en overstroming door rivieren, kunnen leiden tot een tijdelijk hogere grondwaterstand. De gebruiksfunctie wordt daardoor weliswaar tijdelijk verminderd, maar dat betekent niet dat ook de gebruiksfunctie op de langere termijn wordt aangetast. Om te kunnen spreken van grondwateroverlast, dient sprake te zijn van structurele aantasting van de gebruikersfuncties. In het genoemde onderzoek wordt overigens duidelijk gesteld dat er nog geen erkende definitie is voor grondwateroverlast. In het onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen optrekkend vocht, vochttransport vanuit de kruipruimte en te natte tuinen en parken.

*Waterplan Amsterdam, Leven met grondwater (Gemeente Amsterdam, 2002)*

In het waterplan van Amsterdam wordt grondwateroverlast omschreven als (grond)water dat bewoners als te hoog ervaren en klachten veroorzaakt, zoals vochtproblemen, wateroverlast, schimmels en muffe lucht. Dit is niet noodzakelijkerwijs grondwater dat vanuit hydrologisch oogpunt, ten opzichte van het oppervlaktewaterpeil, te hoog is.

*Samen leven met grondwater (CIW, 2004)*

Zoals eerder vermeld, sluit de visie van de CIW voor een groot deel aan bij het onderzoek van KPMG en Grontmij (2001). In het rapport van de CIW wordt echter ook een definitie gegeven voor de term grondwateronderlast terwijl het rapport van KPMG en Grontmij zich daaraan niet waagt.

- **Grondwateronderlast:** die situatie waarbij er sprake is van aantasting van de fundering door een structureel te grote ontwateringsdiepte als gevolg waarvan bijvoorbeeld houten funderingspalen droog komen te vallen. Overigens kunnen er ook, zonder dat er grondwaterproblemen bestaan, funderingsproblemen optreden.
- **Grondwateroverlast:** die situatie waarbij er sprake is van aantasting van de gebruiksfunctie van een perceel door een structureel (te) geringe ontwateringsdiepte.

Centraal in deze definities staat de structurele aantasting van de gebruiksfunctie. Hiervan is sprake wanneer het alledaagse gebruik wordt belemmerd. Omdat deze definities nog veel interpretaties mogelijk maken, geeft de CIW het advies om de gemeenteraad zelf te laten beoordelen of er sprake is van grondwateroverlast.

---

Verder maakt het rapport, net zoals het rapport van Geldof (1992) een scheiding tussen woningen met kelders en woningen met kruipruimten. Iedereen is volgens de CIW verantwoordelijk op het eigen perceel: de verantwoordelijkheid van de burger beperkt zich tot eigen bouwwerken en eigen grond, de eigenaar draagt zelf de verantwoordelijkheid om te voldoen aan de waterdichtheideisen uit het Bouwbesluit. Zelfs als een kelder niet waterdicht hoeft te zijn conform het bouwbesluit, is de eigenaar verantwoordelijk deze al dan niet waterdicht te maken. Vanwege dit standpunt wordt in het rapport van de CIW niet verder ingegaan op de grondwateroverlast in de kelders. De oplossingen voor deze problematiek zijn bekend en zijn geheel voor de rekening van de perceeleigenaar.

### Interviews

Met alle leden van het consortium zijn interviews gehouden. De onderstaande instanties zijn geïnterviewd:

- *Bewonersplatform Binnenstad Noord*, meerdere bijeenkomsten van het bewonersplatform zijn bijgewoond, voor deze bijeenkomsten hebben de bewoners een groep deskundigen geformeerd (25-1-2004).
- Hoogheemraadschap van Delfland, dhr. Gloudemans (30-9-2004);
- Gemeente Delft, dhr. Van der Werf (9-9-2004) en dhr. De Dood (17-9-2004);
- Provincie Zuid-Holland, dhr. Hofman (18-8-2004);
- Leden van het Waterpact van Twente, dhr. Bruins (Waterschap Regge en Dinkel) en dhr. Heukels (Gemeente Hengelo) (15-10-2004);
- Gemeente Dordrecht, dhr. Van Eijnsbergen (25-11-2004);
- Gemeente Den Haag, dhr. Hagen (20-8-2004).

### *Verschillende overheden*

Uit de interviews met de leden van het consortium blijkt dat, in tegenstelling tot het bewonersplatform, de verschillende overheden de visie van de CIW onderschrijven. Wel plaatsen een aantal personen kanttekeningen bij de termen “gebruiksfunctie” en “structureel (te) geringe ontwateringsdiepte”. Over de term gebruiksfunctie noemt dhr. Van Eijnsbergen van de Gemeente Dordrecht bijvoorbeeld dat hij, omdat hij geen arts is, niet kan beoordelen of bewoners gezondheidsklachten krijgen door te hoge grondwaterstanden. Dhr. Hagen van de gemeente Den Haag vindt de problematiek rond de natte kelders geheel de verantwoordelijkheid van de bewoner, terwijl dhr. Bruins van het waterschap Regge en Dinkel juist net die bewoners toch tegemoet zou willen komen met behulp van een subsidie.

### *Bewoners*

Uit gesprekken met bewoners komt duidelijk naar voren dat zij water in huis ervaren als (grond)wateroverlast. Volgens de definitie van de overheden behoort de natte kelder buiten de problematiek met het grondwater. Toch zijn de bewoners vaak van mening dat de gemeente hiervoor verantwoordelijk is. Bij Gemeente Den Haag is echter op kaartmateriaal duidelijk aantoonbaar dat slechts op een paar plaatsen in de stad grondwateroverlast zou kunnen optreden ten gevolge van een te hoge grondwaterstand. Toch klagen ongeveer drieduizend bewoners van Den Haag over grondwateroverlast. Natte kelders en souterrains zijn de meest genoemde klachten ([www.haagsekoepel.nl](http://www.haagsekoepel.nl), 12-12-2004). De leden van het *Bewonersplatform Binnenstad Noord*, uit Delft, zijn al lang betrokken bij de grondwaterproblematiek. Zij zijn zich er dan ook van bewust dat een lekke kelder geheel de verantwoordelijkheid van de perceeleigenaar is. Wel wijzen zij erop dat in Delft nieuwe bewonersverenigingen ontstaan die hier niet van op de hoogte zijn.

Volgens de CIW heeft de gemeente, daar waar andere maatregelen falen, de zorg voor doelmatige inzameling en afvoer van overtollig grondwater, een taak die een wettelijke verankering vereist (CIW, 2004). Naar aanleiding van deze opvatting, is het bewonersplatform van mening dat de door de CIW voorgestelde inspanningsverplichting van de gemeente

---



omgezet zou moeten worden in een resultaatsverplichting. Dit omdat zij bang zijn dat bij de inspanningsverplichting nog steeds fluctuaties van de grondwaterstand kunnen optreden waartegen de door de bewoners uitgevoerde maatregelen niet bestand zijn. Bij een resultaatsverplichting zou de gemeente eventueel een schadevergoeding moeten betalen.

**Vaststellen definitie grondwateroverlast**

Na het bestuderen van de literatuur en de interviews met leden van het consortium, kan geconcludeerd worden dat het niet eenvoudig is om een algemene, sluitende definitie te formuleren voor grondwateroverlast. In de meeste literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen grondwater in de kelder en grondwater in de kruipruimte. Tevens wordt onderscheid gemaakt wordt tussen vochtoverlast in woningen en grondwateroverlast. Volgens sommigen treedt grondwateroverlast alleen op als grondwater in de kruipruimte staat, tuinen en parken onbegaanbaar zijn en wegen beschadigen door hoge grondwaterstanden. Optrekkend vocht in de muren, veroorzaakt doordat de fundering in het grondwater staat, wordt gezien als vochtoverlast. Voor het huidige onderzoek willen we het begrip grondwateroverlast helder afbakenen. We kiezen ervoor een definitie te formuleren die past binnen het onderzoek en de visie van de CIW. De CIW formuleert het begrip grondwateroverlast als volgt:

*Die situatie waarbij er sprake is van aantasting van de gebruiksfunctie van een perceel door een structureel (te) geringe ontwateringsdiepte.*

**(te) Geringe ontwateringsdiepte:** Voor de ontwateringsdiepte is het niet eenvoudig om een technische norm te ontwikkelen. Veelal elk probleemgebied heeft een andere minimale ontwateringsdiepte waarbij de overlast optreedt. De gemeente kan op een democratische wijze besluiten wanneer sprake is van een (te) geringe ontwateringsdiepte. Deze opmerking van de CIW om gemeenten democratisch te laten besluiten over de minimale ontwateringsdiepte, lijkt een goede keuze, omdat op deze manier de lokale omstandigheden worden meegenomen. Voorgesteld wordt dat de gemeenten in bijvoorbeeld waterplannen deze ontwateringsdiepte vastleggen.

**Aantasting gebruiksfunctie van een perceel:** Hiermee doelt de CIW vooral op de overlast die grondwateroverlast veroorzaakt in woningen en bedrijfsterreinen. Volgens de literatuur en de leden van het consortium wordt echter ook overlast veroorzaakt door beschadigde wegen en slechte groeiomstandigheden voor groenvoorzieningen. Volgens de CIW is een natte kelder een probleem van alleen de bewoner. Een volgens de normen waterdicht gebouwde kelder kan namelijk geen overlast hebben van grondwater. De natte kelder problematiek zal dus geheel buiten de definitie voor grondwateroverlast vallen. De term perceel zou eventueel nog vervangen kunnen worden door een term die zowel de particuliere en openbare percelen beschrijft als een term die de wegen, groenvoorzieningen en gebouwen beschrijft. De term onroerend goed is hier geschikt voor. De aantasting van de woning wordt veroorzaakt door optrekkend vocht en door vochttransport vanuit de kruipruimte naar de woning.

**Structureel:** Ook bij een grondwaternorm voor stedelijk gebied hoort een toegestane overschrijdingskans, omdat het niet reëel is dat te allen tijde, ook onder extreme omstandigheden, aan de norm wordt voldaan. Voor de gehanteerde waarden van de overschrijdingsfrequentie en -duur geldt dat dit in feite arbitraire waarden zijn. Zo wordt in het *proefproject Roosendaal* (Heidemij Advies & TU Delft, 1993) een overschrijdingsduur van zeven dagen gehanteerd. Een goed inzicht in de relatie tussen met name de overschrijdingsduur enerzijds, en de ervaren problemen en opgetreden schade anderzijds, ontbreekt op dit moment. In de meeste gevallen is niet duidelijk of de grondwateroverlast een gevolg is van de overschrijding(sduur) van de norm. Daarnaast is het door de lage frequentie waarmee grondwaterstanden worden gemeten op dit moment niet mogelijk om na te gaan wat de

---



werkelijke overschrijdingsfrequentie en –duur zijn. De conclusie is dat voor een eventueel andere keuze van de overschrijdingsfrequentie en –duur momenteel zowel onvoldoende inzicht als onvoldoende meetgegevens beschikbaar zijn (Gemeente Amsterdam, 2002). Net zoals bij de term *geringe ontwateringsdiepte*, zou de gemeente democratisch kunnen besluiten wat structureel is, omdat dit per probleemgebied verschilt. Dit komt doordat de bodemopbouw en het lokale grondwatersysteem per gebied verschillend is.

Na deze analyse, blijkt dat de definitie van de CIW goed verwoordt wat bedoeld wordt met de term grondwateroverlast voor dit onderzoek. De definitie die wij in dit onderzoek hanteren, is een afgeleide van die van de CIW:

*Die situatie waarbij er sprake is van aantasting van een of meer gebruiksfuncties van een onroerend goed door een structureel (te) geringe ontwateringsdiepte.*

Voor bewoners met grondwateroverlast zal deze definitie wellicht onduidelijkheid scheppen. Voor hen zal de volgende definitie beter aansluiten bij hetgeen zij als overlast ervaren:

*Wateroverlast die veroorzaakt wordt door water dat zich onder het maaiveld bevindt.*

Voor een burger is er geen onderscheid tussen bodemvocht, grondwater of lekkagewater. Voor de specialisten is het belangrijk om dit voor ogen te houden en eventueel een uitleg aan de bewoner te geven, indien de bewoner daar om vraagt.

---



## Bijlage 4

### Commissie Integraal Waterbeheer

De Commissie Integraal Waterbeheer (CIW) was, tot de opheffing van de commissie op 12 februari 2004, het bestuurlijk overleg voor de afstemming van beleid en uitvoering van integraal waterbeheer. De Commissie bestond uit bestuurlijke vertegenwoordigers van de overheden die betrokken zijn bij het integraal waterbeheer. De taken van het CIW waren onder andere het afstemmen van beleidsvoornemens en het verrichten van onderzoek en studie.

De CIW heeft voor het toekomstige stedelijke grondwaterbeleid in februari 2004 de visie *Samen leven met grondwater* uitgebracht. Deze visie sluit voor nagenoeg geheel aan bij het onderzoek van KPMG en Grontmij, *Grondwateroverlast in het Stedelijk gebied* (2001) en bij het *proefproject Roosendaal* (Heidemij Advies & TU Delft, 1993). Echter, in tegenstelling tot deze en andere onderzoeken, spreekt de CIW zich wél rechtstreeks uit over welke organen voor welke oorzaken van grondwateroverlast verantwoordelijk zijn. In de visie is een raamwerk voor procesafspraken tussen de diverse overheden opgenomen (CIW 2004):

- Het Rijk (Ministeries van VROM en V&W) draagt er zorg voor dat de voorgestelde juridische, fiscale en financiële aanpassingen ook daadwerkelijk worden gerealiseerd.
- De provincie zet een strategie op hoofdlijnen uit, levert kennis en heeft een faciliterende rol. Daarnaast zorgt ze voor afstemming tussen regionale activiteiten en ontwikkelingen enerzijds, en de mogelijke effecten hiervan voor het stedelijke gebied anderzijds.
- Het waterschap is als watersysteembeheerder verantwoordelijk voor het treffen van maatregelen in het oppervlaktewatersysteem als daarmee grondwaterproblemen kunnen worden opgelost of worden voorkomen. Daarnaast coördineert het waterschap de inbreng van (grond)waterkennis in de watertoets en het gemeentelijke beleidskader.
- De gemeente draagt zorg voor een loket waar vragen en klachten over grondwater binnenkomen. De gemeente is tevens trekker en regisseur voor de grondwateropgave. Daarnaast heeft de gemeente, daar waar andere maatregelen falen, de zorg voor doelmatige inzameling en afvoer van overtollig grondwater, een taak die een wettelijke verankering vereist. Niet in de laatste plaats is de gemeente de bewaker van het 'bouwproces'.

De commissie geeft echter aan dat niet alleen overheden verantwoordelijk gehouden kunnen worden voor de consequentie en de oplossing voor grondwaterproblemen. Zo noemt zij twee andere verantwoordelijken:

- Een perceelseigenaar heeft een eigen verantwoordelijkheid voor de ontwatering van het eigen terrein en de staat en het onderhoud van zijn bouwwerk.
  - En zo mag ook van de bouwpraktijk (van ontwerpers tot uitvoerders) worden verwacht dat zij, meer dan tot nu toe het geval is geweest, rekening houden met het grondwater.
-



## Bijlage 5

### Informatie GGD Rotterdam en omstreken

Beste Lucas,

Ik heb een aantal referenties opgezocht. Ze staan in een willekeurige volgorde.

1. Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu. Rapport 609021029/2004. Dusseldorp e.a. RIVM.
2. Hoe gezond is de Nederlandse woning? E. Hasselaar, Delft. 2001
3. Gezondheid en leefomgeving; van wijken weten. Van den Bogaard/Groot, Van Gorcum 1995.
4. Binnenmilieu onderzoek Utrecht. Hady/Thuis. GG&GD Utrecht, 1998.
5. Binnenmilieu-Luchtweg Onderzoek. Van der Lucht e.a. GGD GSO Groningen 1995.
6. Allergie, CARA en allergenen in woningen. Advies en literatuurstudie. Gezondheidsraad, Den Haag 1992.
7. Gezondheidsproblemen en het binnenmilieu in woningen. TNO rapport. Van Dongen/Steenbekkers. Leiden, 1993.
8. Vochtproblemen in bestaande woningen. Van Hees/Castenmiller. Den Haag 1992.
9. Effective mite allergen avoidance in households with asthmatic children. Clinical, technical and behavioral aspects. Proefschrift Van Linden-Van Nes. TU Eindhoven 1999.
10. Handboek Binnenmilieu. Slob. Amsterdam 1996.
11. Pernot et al. 2003. Op dit moment weet ik niet meer van deze referentie dan dit.

Algemeen geldt dat er geen directe relatie is tussen vochtige woningen en gezondheidsklachten. Het wordt meer als comfortprobleem gezien. Wel is het zo dat in een vochtige woning meer huisstofmijten voorkomen en de kans op schimmelvorming groter is. Zowel de uitwerpselen van huisstofmijten als de aanwezigheid van schimmels kunnen allergieën veroorzaken. Een eenmaal ontwikkelde allergie gaat gepaard met gezondheidsklachten als een loopneus en tranende ogen. Bewoners met allergisch astma kunnen door een allergische reactie een astma-aanval krijgen en dan dus last krijgen van hoesten, piepen en een moeilijke ademhaling.

Bewoners die niet allergisch zijn voor huisstofmijten of schimmels hebben in principe niet meer klachten in een vochtige woning dan in een droge woning. Bovendien kunnen mensen die nog niet allergisch zijn, allergisch worden. Dit zal sneller gebeuren in een omgeving met hoge blootstelling (veel huisstofmijten of schimmels) dan in een omgeving met lage blootstelling.

Ik hoop dat je hiermee uit de voeten kunt. Als je vragen hebt dan hoor ik dat wel van je. Succes.

Met vriendelijke groet,

Tiny Habets  
GGD Rotterdam en omstreken  
Postbus 70032  
3000 LP Rotterdam  
tel. 010 4339 509  
fax. 010 4339 343

---



## Bijlage 6

### Verdieping gezondheidsklachten

Onderstaande tekst is overgenomen uit het *Handboek Vocht en Ventilatie* (Adan e.a., 2000)

#### Sensibilisatie en allergische reacties

Onder sensibilisatie wordt de periode verstaan van het ontwikkelen van een allergie door de vorming van specifieke antistoffen bij blootstelling aan bepaalde stoffen geproduceerd door biologische (micro)organismen. De stoffen die een allergie veroorzaken, worden allergenen genoemd. Ze veroorzaken de vorming van zogenaamde antilichamen, die vervolgens weer specifiek met die stoffen kunnen reageren. Vooral de blootstelling aan allergenen en bepaalde chemische agentia gedurende de eerste levensjaren is van belang voor de mogelijke sensibilisatie, en daarmee voor de ontwikkeling van het immuunsysteem en van allergische en hyperreactiviteitsreacties in het latere leven.

Eenmaal gesensibiliseerd kan blootstelling aan allergenen tot allergische reacties leiden, waaronder astma, allergische rhinitis (bijvoorbeeld hooikoorts) en constitutioneel eczeem. In Nederland worden de (allergische) luchtwegklachten veelal als caraklachten aangeduid. Deze aandoeningen worden gekenmerkt door symptomen als een chronische hoest, het chronisch opgeven van sputum en kortademigheid met piepende ademhaling.

Een substantieel deel van de Nederlandse bevolking blijkt een erfelijke aanleg te hebben voor storingen in het immuunsysteem. Deze – zogenaamde atopische – aanleg, waarbij een extra hoeveelheid IgE als antistof wordt gevormd, is naar schatting bij 25 tot 35% van de Nederlandse bevolking aanwezig. Circa 10 tot 12% van de Nederlandse bevolking heeft last van cara en voor 2005 wordt verwacht dat 15% van de bevolking als carapatiënt kan worden aangeduid. Daarmee komt cara, na gewrichtsslijtage, op de tweede plaats voor wat betreft de prevalentie van ziekten en aandoeningen in Nederland, en op de vijfde plaats als het gaat om verloren levensjaren, ofwel te vroeg overlijden (na coronaire hartziekten, beroerte, longkanker en borstkanker).

Geschat wordt dat circa 80% van de allergische patiënten (mede) gesensibiliseerd zijn door de alom aanwezige huisstofmijten en 45% door schimmelsporen. Deze prevalenties zijn naar schatting 70% wanneer specifiek naar relaties met voorraadmijten wordt gekeken, en 50% in geval van kakkerlakken. In het algemeen geldt dat mensen die allergische reageren op (huisstof)mijten dan ook antilichamen in hun bloed hebben tegen zilvervisjes en kakkerlakken. Dit geldt ook voor de reactie op schimmels: mensen die allergisch reageren op schimmels doen dat meestal ook voor huisstofmijten.

In een “vochtige” woning blijken vaker carapatiënten te wonen en in “vochtige” woningen blijken bij kinderen vaker verhoogde gehalten specifieke antistoffen (IgE) tegen huisstofmijt voor te komen. Of, en in welke mate, sensibilisatie en allergie en/of caraklachten primair worden veroorzaakt door een vochtige woning is echter wetenschappelijk moeilijk aantoonbaar. De kans om astma te krijgen kan mede worden toegeschreven aan erfelijke factoren. Daarnaast is meestal sprake van blootstelling aan meerdere allergene stoffen tegelijk (mijten, schimmels, afvalproducten van huisdieren, bacteriën), zowel in de eigen woning als elders in de binnenlucht (scholen, bedrijven, auto's), maar ook in de buitenlucht (schimmels, pollen). Voedselallergie kan eveneens nog verstoring werken.

Bovendien laten ook de betrouwbaarheid en validiteit van de metingen aan de diverse agentia nog te wensen over. Concentraties van levende schimmels (sporen) in de lucht zijn niet goed meetbaar en ook sterk afhankelijk van het meetmoment. Zo kan tot zo'n anderhalf uur na het stofzuigen sprake zijn van een sterke verhoging van fijn stof en daarmee van schimmelsporen in de lucht. En tenslotte is bij de vaststelling van zogeheten dosis-effect

relaties ook nog een verstorende factor dat veel carapatiënten hun woningen hebben gesaneerd op allergenen en hun gedrag hebben aangepast.

Ongeacht deze onzekerheden zijn er inmiddels wel sterke aanwijzingen dat het terugdringen van de allergeenbelasting in woningen van mensen die al allergische astma hebben, tot een aantoonbare vermindering van klachten leidt. Hieronder valt met name het verminderen van de vochtbelasting in de woning, dat wil zeggen het verlagen van de gemiddelde relatieve vochtigheid van de lucht (door verhoogde ventilatie en het voorkómen van binnendringen van vocht van buitenaf, zoals door regendoorslag en optrekkend vocht). Naar het effect van cara- en allergie-preventief huishoudelijk gedrag en maatregelen aan woningen vindt momenteel nog onderzoek plaats.

#### Niet-allergische hyperreactiviteitsreacties

Er kan ook sprake zijn van reacties op niet immunologische prikkels, ofwel van niet-allergische hyperreactiviteitsreacties. Ze kunnen worden veroorzaakt door (relatief lage) concentraties of emissies van bepaalde (combinaties van) chemische agentia.

Vochtig geworden isolatiemateriaal blijkt in versteekte mate aldehyden, waaronder formaldehyde te kunnen emitteren. Van blootstelling aan formaldehyde is bekend dat dit reeds bij vrij lage concentraties leidt tot (slijmvlies)irritatie aan de ogen, neus en keel, een 'warm'gevoel op de gezichtshuid, droge huidklachten, eczeem en irritatie van de (bovenste) luchtwegen.

Geschat wordt dat bij blootstelling aan formaldehyde meer dan van de allergische patiënten deze hyperreactiviteitsreacties eveneens vertoont. Verder zijn er aanwijzingen dat formaldehyde en sommige anhydriden ook immunologische IgE-reacties, leidend tot astma en eczeem, kunnen oproepen of versterken, maar afdoende bewijs hiervoor ontbreekt nog.

#### Reumatische klachten

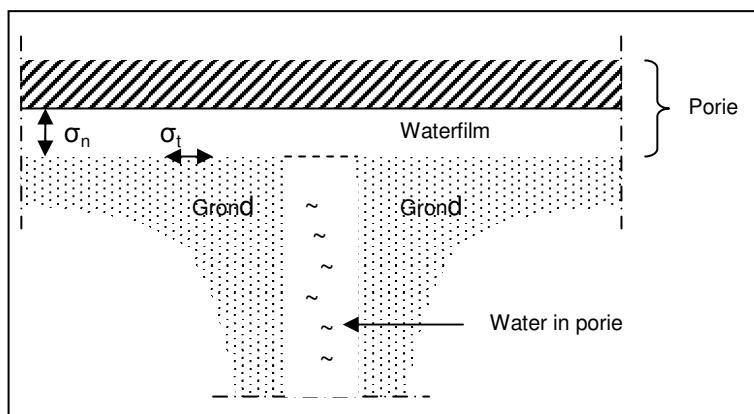
Naast allergische en hyperreactiviteitsreacties (cara klachten) worden soms ook reumatische klachten geassocieerd met vocht. 'Ervaringsgegevens' van mensen met reumatische en/of artroseklachten geven aan dat de patiënt meer pijn heeft bij vochtige omstandigheden en een relatief lage temperatuur (kilte), dan bij een droge en warme atmosfeer. Wat betreft artroseklachten blijkt dat vooral de duur van de pijn samenhangt met een hoge relatieve vochtigheid, hoge luchtdruk en veranderingen daarin, en lage lichtsnelheid en temperatuur.



## Bijlage 7

### Opvriesmechanisme

In deze bijlage wordt dieper ingegaan op het opvriesmechanisme. Aan de bovenkant van de gevormde ijslens wordt continu warmte onttrokken, waardoor op den duur ook de onderkant van het ijs verder afkoelt. Hierdoor groeit het ijs aan ten koste van water. Dat gebeurt bij een temperatuur van vlak bij 0 graden Celsius. De waterfilm wordt derhalve steeds dunner. Op een willekeurige plaats in bijvoorbeeld een glas water is de spanning naar alle zijden even groot. In dat geval wordt gesproken van druk. In de dunne waterfilm tussen grond en ijs is dat echter door moleculaire aantrekkingskrachten niet het geval. Er zijn daar wel spanningen, maar die zijn richtingsafhankelijk. Loodrecht op de wanden staan de normaalspanning  $\sigma_n$ , terwijl evenwijdig aan de wanden een tangenciaal spanning  $\sigma_t$  heerst.  $\sigma_n$  is groter dan  $\sigma_t$  en dat verschil wordt groter, naarmate de film dunner is (zie figuur B. 3). Staat nu het filmwater in contact met vrij water in de poriën met druk  $P$  op dezelfde hoogte, dan geldt  $\sigma_n > P$  en  $\sigma_t < P$ . Als gevolg daarvan zal water vanuit de ruimere poriën naar de film toestromen. De drijvende kracht is  $P - \sigma_t$ . Wanneer de tangenciaalspanning in de waterfilm lager wordt, heeft dat geen invloed op de druk van het vrije, diep gelegen poriënwater. Als gevolg daarvan ondervindt dit water een naar de film gerichte kracht en stroomt het naar het ijsfront toe. Hierdoor blijft de ijslens van onder groeien, terwijl de waterfilm intact blijft: er treedt opvriezen op. De hoeveelheid water die per tijdseenheid toestroomt wordt daarbij bepaald door zowel het drukverschil als de doorlatendheid van de grond. Bij het optreden van bovenbelasting nemen zowel  $\sigma_n$  en  $\sigma_t$  toe, waardoor  $(P - \sigma_t)$  en dus de waterstroming afneemt. Naarmate de capillaire stijghoogte van het grondwater hoger ligt ten opzichte van het ijsfront, zal bij voldoende doorlatendheid dus meer water worden aangevoerd en is het opvrieseffect groter. Bij een slechte doorlatendheid is het opvrieseffect ten gevolge van een gebrekkige aanvoer gering.



Figuur B. 3: Opvries mechanisme

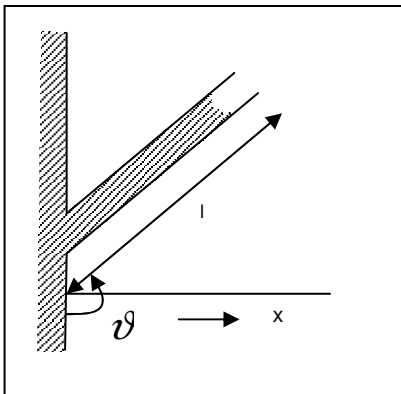


## Bijlage 8

### Capillair transport

Voor het gebruik van het onderstaande systeem (figuur B. 4) worden de volgende aannamen gedaan:

- Het capillair heeft een constante cirkelvormige doorsnede;
- De temperatuur is constant;
- Geen uitwendige krachten op het systeem, behalve de zwaartekracht.



Figuur B. 4: Capillair transport vanaf een vrij wateroppervlak

Uit de wet van Newton volgt de volgende op het systeem werkende kracht:

$$F = \rho l \frac{d^2 l}{dt^2} \pi r^2$$

$\rho$ : Soortelijke massa van water (kg/m<sup>3</sup>)

$l$ : Afstand tot meniscus (m)

$t$ : Tijd (s)

$r$ : Capillairstraal (m)

Deze kracht is samengesteld uit drie componenten:

- Capillaire kracht:  $F_c = \frac{2\sigma}{r} \pi r^2$
- Wrijvingskracht:  $F_w = -\frac{8\eta l}{r^2} \left( \frac{dl}{dt} \right) \pi r^2$
- Zwaartekracht:  $F_g = \alpha \rho l \cos \vartheta \pi r^2$

$\sigma$ : Oppervlaktespanning (N/m)

$\alpha$ : Versnelling van de vrije val (m/s<sup>2</sup>)

$\eta$ : Dynamische viscositeit van water (Ns/m<sup>2</sup>)

Hieruit volgt:  $F = F_c + F_w + F_g$

$$\rho l \frac{d^2 l}{dt^2} = \frac{2\sigma}{r} - \frac{8\eta l}{r^2} \left( \frac{dl}{dt} \right) + \alpha \rho l \cos \vartheta$$

Aangenomen wordt dat de versnelling  $\left( \frac{d^2 l}{dt^2} \right)$  verwaarloosbaar is.

$$v = \frac{dl}{dt} = \frac{r^2}{8\eta l} \left( \frac{2\sigma}{r} + \alpha \rho l \cos \vartheta \right)$$

Verticaal transport (optrekkend vocht):  $\cos \vartheta = -1$  Hieruit volgt:

$$v = \frac{r^2}{8\eta l} \left( \frac{2\sigma}{r} - \alpha \rho l \right)$$

Als  $v = 0$  dan wordt de maximale stijghoogte ( $l = H_0$ ) bereikt:

$$\frac{2\sigma}{r} = \alpha \rho H_0, \quad \frac{2\sigma}{r \rho \alpha} = H_0$$

Aan de hand van onderstaande waarden wordt een relatie gezocht tussen  $H_0$  en  $r$ :

$$\sigma : 74 * 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\rho : 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha : 10 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Dit komt overeen met: } H_0 = \frac{15 * 10^{-6}}{r} \approx 14,8 * 10^{-6} \frac{14,8 * 10^{-6}}{r}$$


---

## Bijlage 9

### Afleiding formule van Donnan

$q_x = R(\frac{1}{2}L - x)$  voor een vlak loodrecht op de tekening.

Deze afvoer moet volgens Darcy gelijk zijn aan:

$$q_x = -k * i * y = -k \frac{dy}{dx} * y$$

Zodat:

$$R(\frac{1}{2}L - x) = k * \frac{dy}{dx} * y \Rightarrow R(\frac{1}{2}L - x)dx = k * dy * y$$

Integratie van bovenstaande formule levert de volgende vergelijking op:

$$-\frac{1}{2}Rx^2 + \frac{1}{2}RLx = \frac{1}{2}ky^2 + C$$

De randvoorwaarden zijn:

$$x = 0 ; y = D \text{ dus } C = -\frac{1}{2}kD^2$$

Zodat:

$$-Rx^2 + RLx = k(y^2 - D^2)$$

De randvoorwaarden zijn dan:

$$x = \frac{1}{2}L ; y = D + h$$

$$\text{Zodat } RL^2 = 8 * kDh + 4kh^2 \Rightarrow R = \frac{8 * kDh + 4kh^2}{L^2}$$


---

## Bijlage 10

## Eigenschappen drains

| Naam en materiaaltipe                                                                                     | Kokos 700<br>(vezels)                                                                                         | Kokos 1000<br>(vezels)                                                                                        | Polypropreen PP450<br>(vezels)                                             | Polypropreen PP700<br>(vezels)                                                                                                                                                               | Polystyreen<br>(korrels in net 1) <sup>1</sup>                                                                                                                                               | Vliezen/<br>Weefsels/ briesels                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Algemene kenmerken</i><br>Categorie                                                                    | Volumineus<br>organisch<br>ja                                                                                 | Volumineus<br>organisch<br>ja                                                                                 | Volumineus<br>synthetisch<br>ja                                            | Volumineus<br>synthetisch<br>ja                                                                                                                                                              | Volumineus<br>synthetisch<br>ja                                                                                                                                                              | Dun<br>synthetisch<br>nee                                                                                                                                                                                                             |
| Voorzien van Komo-certificaat <sup>2</sup>                                                                | 700                                                                                                           | 1000                                                                                                          | 450                                                                        | 700                                                                                                                                                                                          | 1000                                                                                                                                                                                         | meestal<br>100 - 300                                                                                                                                                                                                                  |
| Karakteristieke poriëngrootte [O(90) -<br>waarde]                                                         | 700                                                                                                           | 1000                                                                                                          | 450                                                                        | 700                                                                                                                                                                                          | 1000                                                                                                                                                                                         | < 1                                                                                                                                                                                                                                   |
| Dikte (mm) <sup>3</sup>                                                                                   | 6,4 - 14                                                                                                      | 4 – 10                                                                                                        | 3 - 7                                                                      | 4 - 8,4                                                                                                                                                                                      | 8 – 11                                                                                                                                                                                       | 0,2                                                                                                                                                                                                                                   |
| Kosten indicatie (Euro per meter) <sup>5</sup>                                                            | 0,25                                                                                                          | 0,20                                                                                                          | 0,25                                                                       | 0,45                                                                                                                                                                                         | 0,35                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                       |
| <i>Functionele eigenschappen</i><br>Levensduur (vertering/afbraak)                                        | 5 - 10 jaar                                                                                                   | 2 - 10 jaar                                                                                                   | onbeperkt                                                                  | onbeperkt                                                                                                                                                                                    | onbeperkt                                                                                                                                                                                    | onbeperkt                                                                                                                                                                                                                             |
| Voorkoming grondinspoeling:<br>- bij droge aanleg<br>- bij natte aanleg<br>- bij redelijke omstandigheden | goed<br>slecht<br>goed <sup>6</sup>                                                                           | goed<br>slecht<br>goed <sup>6</sup>                                                                           | goed<br>slecht<br>goed                                                     | goed<br>slecht<br>goed <sup>6</sup>                                                                                                                                                          | goed<br>slecht<br>goed <sup>6</sup>                                                                                                                                                          | goed<br>slecht<br>goed                                                                                                                                                                                                                |
| Gevoeligheid voor dichtslibben                                                                            | beperkt                                                                                                       | beperkt                                                                                                       | redelijk                                                                   | beperkt                                                                                                                                                                                      | beperkt                                                                                                                                                                                      | groot                                                                                                                                                                                                                                 |
| <i>Toepasbaarheid</i>                                                                                     | Alleen als werking tijdelijk<br>nodig is.<br><br>Niet toepassen in zeer<br>fijnzandige, instabiele<br>gronden | Alleen als werking tijdelijk<br>nodig is.<br><br>Niet toepassen in zeer<br>fijnzandige, instabiele<br>gronden | Algemeen toepasbaar in<br>het geval risico van<br>verstopping<br>gering is | Aanbevolen als risico<br>verstopping beduidend is.<br>Als dit risico groot is, los<br>gestorte materialen<br>toevoegen<br><br>Niet toepassen in zeer<br>fijnzandige, instabiele<br>profielen | Aanbevolen als risico<br>verstopping beduidend is.<br>Als dit risico groot is, los<br>gestorte materialen<br>toevoegen<br><br>Niet toepassen in zeer<br>fijnzandige, instabiele<br>profielen | Alleen als werking<br>tijdelijk nodig is, goed te<br>gebruiken voor (tijdelijke)<br>horizontale bronnering<br><br>Misschien oplossing voor<br>zeer fijnzandige<br>instabiele profielen, mits<br>risico van verstopping<br>afwezig is. |

1) alleen leverbaar voor draindiameter 60 cm; enigszins kwetsbaar voor mechanische beschadigen  
2) zonder KOMO-certificaat is er geen zekerheid over de eigenschappen  
3) de dikte is geen op zichzelf staande eis. Voor elke fabrikant is de minimale en maximale dikte - behorende bij de betreffende karakteristieke poriëngrootte - vastgelegd  
4) PP 700 is ook verkrijgbaar in een zware kwaliteit, waarvan de dikte kan variëren van 6 - 13 mm  
5) kostenindicatie - voor omhulling bij draindiameter van 600 mm - uitsluitend voor onderlinge vergelijking  
6) te grof in zeer fijnzandige instabiele gronden (d50<100 micron)