

Als een paal boven water...

Een onderzoek naar de technische en economische gevolgen van wisselende grondwaterstanden voor het oud stedelijk gebied



RuG

Rijksuniversiteit Groningen



STERK CONSULTING
BUREAU VOOR WATER- EN OMGEVINGSVRAAGSTUKKEN

Erik Luyendijk
Houten, 23 maart 2006

Verantwoording

Titel : Als een paal boven water...
Projectnummer : 203010
Documentnummer : 13/99066894/EL
Versie : D1
Datum : 23 maart 2006

Auteur(s) : de heer E. Luyendijk
e-mail adres : erik.luyendijk@grontmij.nl

Gecontroleerd : drs. R. Dubbeldam

Paraaf gecontroleerd :

Goedgekeurd : ir. T.A. Wendt

Paraaf goedgekeurd :

Contact : De Molen 48
3994 DB Houten
Postbus 119
3990 DC Houten
T +31 30 634 47 00
F +31 30 637 94 15
E midwest@grontmij.nl



Inhoudsopgave

Ten geleide	6
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Probleemstelling	10
1.3 Doelstelling	10
1.4 Centrale vraagstelling	11
1.5 Relevantie van het onderzoek	11
1.6 Leeswijzer	12
2 Nederland en water	13
2.1 De Nederlandse delta	13
2.2 Nederland en het water: verleden en toekomst	14
3 Grondwater	14
3.1 Grondwater en Nederland	14
3.2 Grondwaterproblemen	14
3.3 Grondwateroverlast	14
3.4 Oorzaken grondwateroverlast	14
3.4.1 Waterbeheer	14
3.4.2 Milieu- en bodembeheer	14
3.4.3 Stedelijk beheer en gebouwbeheer	14
3.4.4 Ruimtelijke ordening	14
3.5 Gevolgen grondwateroverlast	14
3.6 Grondwateronderlast	14
3.7 Oorzaken grondwateronderlast	14
3.7.1 Waterbeheer	14
3.7.2 Milieu- en bodembeheer	14
3.7.3 Stedelijk beheer en gebouwbeheer	14
3.7.4 Ruimtelijke ordening	14
3.8 Gevolgen grondwateronderlast	14
3.9 Grondwater en de toekomst	14
4 Stad, vastgoed en grondwater	14
4.1 Stedelijk gebied en grondwater	14
4.1.1 Oud stedelijk gebied en grondwateronderlast	14
4.1.2 Oud stedelijk gebied en grondwateroverlast	14
4.2 Vastgoed in oud stedelijk gebied	14
4.2.1 Fundering op palen	14
4.2.2 Fundering op staal	14
4.3 Conclusies en relaties	14
5 Bouwtechnische gevolgen	14
5.1 Aantasting houten paalfunderingen	14
5.1.1 Schimmelaantasting houten paalfunderingen	14
5.1.1.1 De omstandigheden in de praktijk	14



Inhoud (vervolg)

5.1.1.2	Snelheid van de aantasting.....	14
5.1.2	Bacteriële aantasting houten paalfunderingen	14
5.1.2.1	De omstandigheden in de praktijk	14
5.1.2.2	De snelheid van aantasting.....	14
5.2	Optrekkend vocht.....	14
5.2.1	Capillaire opstijging grondvocht.....	14
5.2.1.1	Basisprincipe capillaire opstijging	14
5.2.1.2	Omstandigheden optrekkend grondvocht	14
5.2.1.3	Stijghoogte	14
5.2.2	Optrekkend condensvocht.....	14
5.2.2.1	Omstandigheden optrekkend condensvocht.....	14
5.2.2.2	Stijghoogte	14
5.2.3	De omstandigheden in de praktijk	14
5.2.4	Oplossingsrichtingen.....	14
5.2.5	De snelheid van optrekkend condensvocht.....	14
5.3	Overige effecten.....	14
5.3.1	Aantasting houten vloeren	14
5.3.2	Gezondheidsrisico's	14
5.4	Conclusies	14
6	Economische gevolgen	14
6.1	Vastgoedwaarde-analyse.....	14
6.1.1	Gevolgen vastgoedwaarde	14
6.1.2	Waarderingsmethode WOZ-waarde	14
6.1.3	Herstelkosten.....	14
6.1.4	De situatie in de praktijk	14
6.1.5	Opschaling potentiële gevolgen vastgoedwaarde Nederland.....	14
6.2	Kostenanalyse	14
6.2.1	Inschatting gemiddelde kosten per woning.....	14
6.2.2	Model woning en openbaar terrein	14
6.2.3	Kosten grondwateroverlast	14
6.2.4	Kosten grondwateronderlast	14
6.2.5	Algemene kosten.....	14
6.2.6	Opschaling potentiële kosten Nederland.....	14
6.3	Conclusies	14
7	Conclusies en aanbevelingen	14
7.1	Grondwater en oud stedelijk gebied.....	14
7.2	Aantasting houten paalfunderingen	14
7.3	Optrekkend vocht.....	14
7.4	Problemen en bouwjaar.....	14
7.5	Economische consequenties.....	14
7.6	Mogelijke effecten op de stad	14
7.7	Aanbevelingen	14
7.8	De toekomst	14
8	Literatuur	14



Inhoud (vervolg)

- Bijlage 1 Onderzoeksvragen
- Bijlage 2 Grondwaterproblematiek;
oorzaken, gevolgen, maatregelen en actoren
- Bijlage 3 Dordrecht
- Bijlage 4 Houtaantastende bacteriën en schimmels
- Bijlage 5 Kosten
- Bijlage 6 Vragen interviews



Ten geleide

*“Amsterdam, die groote stad,
Die is gebouwd op palen;
Als die stad eens ommeviel,
Wie zou dat betalen?”*

Dit bekende Nederlandse volkswijsje dekt eigenlijk de gehele lading van het voorliggende rapport. Het veronderstelt dat een stad die gebouwd is op palen problemen zou kunnen gaan vertonen. Verder veronderstelt het een onzekerheid over de kosten van het herstel van deze problemen. Het voorliggende rapport is echter niet specifiek gericht op Amsterdam.

Dit rapport gaat in op de technische en economische gevolgen van funderingsproblemen in relatie tot het grondwater. Het is geschreven als afstudeeronderzoek in het kader van mijn studie Technische Planologie aan de Rijksuniversiteit Groningen. Het onderzoek heb ik uitgevoerd bij Grontmij Nederland BV te Houten.

Vooraf wil ik graag een aantal mensen bedanken voor hun bijdrage aan de totstandkoming van dit rapport.

In de eerste plaats wil ik mijn begeleiders bij dit onderzoek hartelijk danken voor hun begeleidende en sturende rol bij dit onderzoek. Vanuit de Rijksuniversiteit Groningen was dit professor dr. G.J. Ashworth, vanuit Grontmij drs. R. Dubbel-dam en vanuit Sterk Consulting drs. R. van Cleef.

De heer D.Y. Buwalda wil ik bedanken voor het mij attenderen op dit actuele onderwerp.

Verder wil ik een aantal organisaties bedanken die een belangrijke bijdrage hebben geleverd in de informatievoorziening en/of -verificatie:

Grontmij Nederland BV
Sterk Consulting
Gemeente Dordrecht
Gemeente Rotterdam
Gemeente Amsterdam
Waternet (voorheen DWR)
Rijksdienst voor de Monumentenzorg
Ooms Makelaars en Financieel Adviseurs
TNO Bouw en Ondergrond
Alterra
Accanto
Copijn Utrecht BV
Ecorys Nederland BV

Erik Luyendijk,
Maart 2006.



Samenvatting

Grondwater komt overal voor. In Nederland kan grondwater voor problemen zorgen. Wanneer grondwater in een te ruime mate aanwezig is kan grondwateroverlast ontstaan. Wanneer grondwater in een te geringe mate aanwezig is kan grondwateronderlast ontstaan. Grondwateroverlast en grondwateronderlast hebben in belangrijke mate betrekking op het oud stedelijk gebied, rijk aan monumenten.

Bouwtechnische effecten

De bouwmethode van het oud stedelijke gebied was afgestemd op de destijds voorkomende grondwater- en bodemtoestand. Veranderingen in deze toestand, op een tijdschaal van tientallen tot honderden jaren, kunnen problemen veroorzaken aan de bebouwing.

De twee meest voorkomende problemen bij (jonge) monumentale gebouwen in het oud stedelijk gebied zijn de aantasting van houten paalfunderingen en optrekkend vocht. Het grensjaartal voor de gebouwen die gevoelig zijn voor deze problemen kan globaal gesteld worden op 1945.

De aantasting van houten paalfunderingen kan plaatsvinden door schimmels of bacteriën. De aantasting door schimmels vindt plaats bij droogstand, de aantasting door bacteriën onder water.

Aangenomen wordt dat schimmelaantasting bij een cumulatieve droogstandtijd van minimaal tien tot twintig jaar ernstige schade kan toebrengen aan de fundering. Bij bacteriële aantasting gaat het om de tijd dat een houten paalfundering onder water staat. Na ongeveer zestig tot 90 jaar kan ernstige schade optreden. In de praktijk kunnen bacteriële aantasting en schimmelaantasting elkaar opvolgen bij wisselende grondwaterstanden.

Optrekkend vocht is een probleem wat zich voordoet bij gemetselde funderingsmuren. Het proces wat de overlast in de woning veroorzaakt is het proces van de capillaire opstijging van condensvocht. Door een vochtige kruipruimte, in combinatie met een temperatuurverschil tussen de kruipruimte en de funderingsmuur kan condens ontstaan. Een vochtige kruipruimte heeft ongeveer twee tot vijf jaar nodig om te drogen. Geschat wordt dat in een tijd van ongeveer een half jaar het vocht op kan trekken tot boven de plinten in de woning.



Economische effecten

De gevolgen voor de vastgoedwaarde blijken alleen van toepassing op grondwateronderlast. In de praktijk komen deze gevolgen neer op ongeveer 50 tot 100 procent van de (fictieve) herstelkosten voor funderingsherstel. De kosten voor funderingsherstel lopen uiteen van € 10.000,-- tot € 20.000,--.

De economische gevolgen van de grondwaterproblematiek in Nederland kunnen voor wat betreft de potentiële kosten geschat worden op ongeveer tien miljard euro. Voor wat betreft de mogelijke gevolgen voor de vastgoedwaarde in Nederland komt een schatting uit op ongeveer zes miljard euro. De grondwateronderlastproblemen hebben verreweg de grootste impact.

Voor een stad zijn wel degelijk effecten waar te nemen op het imago als gevolg van de grondwaterproblemen. Een adequate aanpak kan dit imago echter weer positief bijstellen. De aantrekkelijkheid van de risicogebieden op investeerders is niet aantoonbaar afgenomen. Wel doen steeds meer geruchten de ronde dat investeerders wel degelijk rekening houden met de laaggelegen risicogebieden voor grondwaterproblemen bij het kiezen van vestigingsplaatsen voor het vastgoed.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De aanleiding voor dit onderzoek wordt gevormd door de problemen die verhoogde en verlaagde waterstanden met zich meebrengen voor constructies van gebouwen in voornamelijk oude binnensteden. Het feit dat deze problemen zeer actueel zijn, maar waarvan de daadwerkelijke gevolgen voor de constructies en de waarde van gebouwen in een nog geringe mate zijn onderzocht, heeft in belangrijke mate bijgedragen aan het uitvoeren van dit onderzoek.

Op verscheidene plaatsen in Nederland heeft men te maken met deze problematiek. Ter plaatse worden oplossingen bedacht om de gebouwen weer op een goede fundering te kunnen laten rusten.

Oude binnensteden zijn vaak rijk aan monumenten. Bij het behoud van monumenten gaat de aandacht meestal uit naar het zichtbare behoud, dat wil zeggen het behoud van dat gedeelte van het gebouw wat zich in het zicht bevindt, dus boven het maaiveld. Op zich is dat ook goed te begrijpen, men behoudt een gebouw vanwege het karakteristieke, waardevolle beeld en dat beeld wordt bepaald door datgene wat men van het gebouw ziet. Het onzichtbare behoud, waaronder het behoud van de funderingen valt, wordt hierdoor vaak naar de achtergrond verdreven. In vele gevallen had dat geen desastreuze gevolgen voor het gebouw. Echter door veranderingen in de grondwaterdynamiek (als gevolg van bijvoorbeeld klimaatverandering), is de aandacht voor het onzichtbare behoud van monumenten steeds vaker van cruciaal belang. Zichtbaar gerestaureerde panden vertonen na de restauratie steeds vaker mankementen als gevolg van een fundering die in een slechte conditie verkeert.

In de loop der jaren is er in en rond oude binnensteden in Nederland veel bebouwing bijgekomen. Deze recentere gebouwen rusten vaak op een heel andere fundering dan de monumenten. Een veelvoorkomend probleem bij de funderingen van monumenten is bijvoorbeeld de paalrot die zich bevindt in de koppen van houten funderingspalen. Te lage grondwaterstanden kunnen dit veroorzaken. Vooral meer recente gebouwen kunnen te kampen hebben met de gevolgen van te hoge grondwaterstanden. Water in de kruipruimten en optrekkend vocht zijn problemen die zich dan voordoen (Wendt et al. 2004). Gebouwen uit verschillende perioden en met verschillende constructies kennen dus elk hun eigen problemen als het om de grondwaterproblematiek gaat.

Er zijn verschillende actoren die een rol spelen bij deze problematiek. Om te beginnen zijn er de opdrachtgevers en/of eigenaren, die beslissen om tot het behoud van een gebouw over te gaan. Voor hen is het investeren in het zichtbare gedeelte van het gebouw vanzelfsprekend het meest aantrekkelijk. Investeren in iets wat nooit meer in het zicht zal komen is minder aantrekkelijk. In het geval van de funderingsproblematiek vormt deze gedachtegang een hindernis met gevolgen die voor het gebouw desastreus kunnen zijn.

Als deze problemen zich voordoen bij funderingen, zijn er vervolgens de uitvoerende partijen die hiervoor oplossingen moeten bedenken.



In gebieden waar deze problemen gezien de waterstanden vaker voorkomen, zijn al vele oplossingen bedacht en met succes uitgevoerd. Het gaat hierbij vaak om oplossingen die neerkomen op het vervangen van de gehele fundering.

Andere actoren, die een meer coördinerende, toezichhoudende en regelgevende rol hebben, zijn het rijk, de provincies en gemeenten. Zij scheppen de voorwaarden die gelden voor het op een verantwoorde wijze omgaan met de bebouwde omgeving in de oude binnensteden.

De laatste, en zeker niet de minst belangrijke actor in deze, is het waterschap. Het waterschap regelt namelijk de waterstanden in de gebieden die zij onder haar hoede heeft. Dit is traditioneel vooral beperkt tot het landelijk gebied, maar ook in het stedelijk gebied heeft het peilbeheer door het waterschap effect op de grondwaterstand. Bij dit watermanagement worden de gevolgen voor de bebouwing nog nauwelijks in de overwegingen meegenomen. Hier is sprake van een grote onbekendheid met de gevolgen van wisselende waterstanden voor de constructies van gebouwen.

Andere partijen die meer zijdelings met deze problematiek te maken hebben zijn onder andere makelaars en investeerders in vastgoed. Makelaars kunnen problemen krijgen met de verkoop van gebouwen die als gevolg van wisselende grondwaterstanden defecten aan de fundering gaan vertonen. Voor investeerders kunnen de gevolgen van funderingsproblemen financieel zeer onaantrekkelijk zijn. Dit zou weer gevolgen zou kunnen hebben op de aantrekkingskracht van de gebouwen in oude binnensteden op investeerders. Dit kan het behoud van gebouwen in oude binnensteden in gevaar brengen.

Hiermee zou deze problematiek tevens een bedreiging kunnen vormen voor de vitaliteit van oude binnensteden. Binnensteden die te kampen hebben met deze grondwaterproblemen kunnen voor investeerders minder aantrekkelijk worden, wat het wegtrekken van functies uit binnensteden in de hand kan werken.

Dit onderzoek richt zich voornamelijk op oude binnenstedelijke gebieden waar zich historische gebouwen bevinden en waaromheen ook recentere bouwwerken in de bebouwing zijn opgenomen.

1.2 Probleemstelling

Uit de hierboven beschreven aanleiding kan een probleemstelling voor dit onderzoek worden opgesteld, die centraal staat in dit onderzoek. Deze probleemstelling kan als volgt worden omschreven:

Als gevolg van verhoogde en/of verlaagde grondwaterstanden in bepaalde gebieden, lijken de constructies van de monumentale bebouwing in oude binnensteden en tevens die van de recentere bebouwing in deze gebieden bedreigd te worden met verval.

Het lijkt erop dat deze problemen op een dusdanige schaal voorkomen, dat een gebiedsgerichte strategie, welke niet alleen gebaseerd is op de grondwaterstanden op zich maar vooral ook op de gevolgen van deze grondwaterstanden voor de bebouwde omgeving, noodzakelijk lijkt.

1.3 Doelstelling

De doelstelling die bij deze probleemstelling geformuleerd kan worden, is het verkrijgen van inzicht in de consequenties van de wisselende grondwaterstanden voor het behoud en de ontwikkeling van oude binnensteden. Door het onderzoeken van de relaties tussen de stijgende en/of dalende waterstanden en de constructies en de waarde van het vastgoed in oude binnensteden, zal worden gekeken wat de effecten zijn van deze relaties op het vastgoed.



1.4 Centrale vraagstelling

De centrale vraagstelling in dit onderzoek is tweeledig, te weten:

Wat zijn de bouwtechnische gevolgen van de verhoogde en/of verlaagde grondwaterstanden voor de bebouwing in oude binnensteden?

Wat zijn de economische gevolgen van de bouwtechnische problemen door stijgende en/of dalende grondwaterstanden voor het vastgoed in oude binnensteden?

De onderzoeksvragen die ten grondslag liggen aan dit onderzoek zijn opgenomen in de eerste bijlage.

1.5 Relevantie van het onderzoek

De afgelopen tijd is de funderingsproblematiek als gevolg van hogere en/of lagere grondwaterstanden meerdere malen in de publiciteit gekomen. Steeds vaker komen concrete voorbeelden van deze problematiek aan het licht. Een voorbeeld hiervan is het voormalige Zuiderzee-eiland en monument Schokland, dat sinds de totstandkoming van de Noordoostpolder op sommige plaatsen al ruim anderhalve meter is gezakt als gevolg van een ernstig verdroogde ondergrond (ROB, 2004).

De wetenschappelijke relevantie blijkt uit een tweetal zaken. In de eerste plaats gaat het om een ingewikkelde problematiek, welke een genuanceerde en duurzame oplossing vergt. Uiteraard kunnen probleemgevallen per stuk opgelost worden door simpelweg een gedeeltelijk of geheel nieuwe fundering aan te brengen. Deze oplossingen brengen echter hoge kosten met zich mee. Deze kosten kunnen gebieden voor nieuwe investeerders minder aantrekkelijk maken. Dit zou grote gevolgen kunnen hebben voor de (her)ontwikkeling van deze gebieden.

In de tweede plaats blijkt de wetenschappelijke relevantie van dit vraagstuk uit het feit dat het onderzoek zich in Nederland voornamelijk heeft gericht op de grondwaterstanden en niet zozeer op relatie tussen de grondwaterstanden en de economische gevolgen voor de bebouwing. Dit geldt in mindere mate voor de bouwtechnische gevolgen, waarnaar wel reeds onderzoek is verricht. Wat echter ontbreekt is een koppeling tussen de verschillende bouwtechnische gevolgen met een algemene eenduidige aanbeveling voor het (stedelijk) grondwaterpeilbeleid als uitkomst. Dit wekt enerzijds verbazing, gezien de lange geschiedenis die Nederland rijk is daar waar het gaat om waterproblematiek. Anderzijds is het een vrij logische ontwikkeling, want de gevolgen voor de bebouwing zijn vaak niet zichtbaar omdat de problemen zich meestal onder de grond voordoen. Dan geldt, uit het oog, uit het hart.



1.6 Leeswijzer

De opbouw van dit rapport kan opgedeeld worden in twee delen. In het eerste deel zal het onderzoeksveld worden afgebakend. Dit deel beslaat de eerste vier hoofdstukken.

In het nu volgende hoofdstuk zal de relatie van Nederland met het water worden beschreven. Van daaruit zal in het derde hoofdstuk specifiek in worden gegaan op het grondwater. Oorzaken, gevolgen en maatregelen zullen hierbij aan bod komen. Het vierde hoofdstuk beschrijft de relaties tussen het grondwater, het stedelijk gebied en het vastgoed. Dit hoofdstuk zal worden afgesloten met de afbakening van het onderzoeksveld.

Het tweede deel van dit rapport bevat de uitwerking van het onderzoek. De uitwerking beslaat de hoofdstukken vijf en zes. In hoofdstuk vijf zullen twee technische gevolgen van wisselende grondwaterstanden aan bod komen. Dit zijn respectievelijk de aantasting van houten paalfunderingen en optrekkend vocht. In hoofdstuk zes worden de economische gevolgen van wisselende grondwaterstanden belicht. Dit hoofdstuk richt zich op de gevolgen voor de vastgoedwaarde en de potentiële kosten. Het onderzoek wordt afgesloten met een hoofdstuk waarin de conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen.



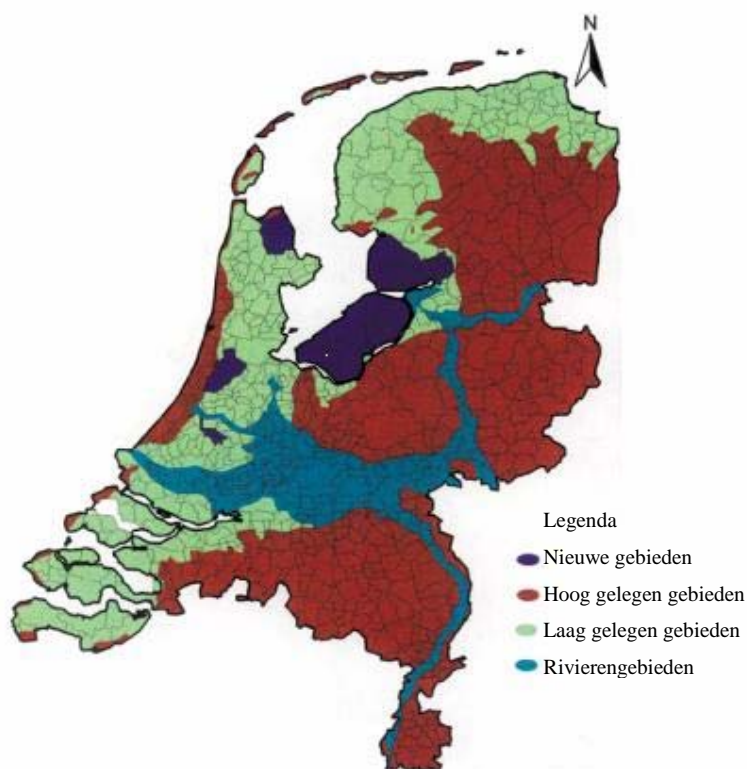
2 Nederland en water

2.1 De Nederlandse delta

Nederland is gelegen in een delta. Drie grote rivieren vormen deze delta, te weten de Rijn, de Maas en de Schelde. De Nederlandse delta is allesbehalve statisch, het is een delta die gezien haar historie voortdurend in beweging is geweest (Dronkers, 1995). De geschiedenis van Nederland kenmerkt zich door het ontstaan van land door natuurlijke krachten enerzijds en het maken van land door menselijke krachten anderzijds. Gedurende de ijstijden werd nieuw land afgezet in het oosten van Nederland, terwijl in de periode na de ijstijden hele gebieden in het westen van Nederland onder water kwamen te staan. In een latere periode gaf de zee weer land terug in de vorm van ‘zandplaten’. Ook in de noordelijke gebieden van Nederland vulde de zee het land aan, hier met klei (Lingsma, 1970). Het waren deze noordelijke gebieden waar de mens voor het eerst ingreep, noodgedwongen. Door een stijgende zeespiegel was hun door de zee opgehoogde land niet meer hoog genoeg en werden zij genoodzaakt om terpen te bouwen teneinde droog te kunnen wonen (Lingsma, 1970). Deze vorm van het maken van nieuw land werd later overbodig door de aanleg van dijken die de zee moesten tegenhouden. Het droogmaken van deze door dijken omringde gebieden was echter een probleem. Er werden sluisconstructies gebouwd waarmee water gedurende eb naar zee kon stromen, en die er tegelijkertijd voor zorgden dat het water ten tijde van vloed niet meer terug kon stromen (De Pater, 2004). In de loop van de vijftiende eeuw werden de eerste watermolens uitgevonden (Lingsma, 1970). Met deze molens werd het lozen van water onafhankelijk van het getijde en kon er permanent geloosd worden. Met deze uitvinding, en later die van het stoomgemaal, nam de inpoldering van Nederland een grote vlucht, een techniek die de Nederlanders wereldwijde roem heeft bezorgd.

De onderstaande figuur geeft een overzicht van de Nederlandse delta met daarin aangegeven de hoger en lager gelegen gebieden evenals de ingepolderde gebieden. Uit de figuur blijkt dat een aanzienlijk deel van Nederland tot het laaggelegen gebied behoort, wat betekent dat het zich onder de zeespiegel bevindt. Reden te meer om ervoor te zorgen dat het gevecht tegen het ‘buiten de deur houden’ van het water tot in lengten van dagen gewonnen dient te worden.





Figuur 1 Hydrologische indeling Nederland in vier gebieden (RWS/RIZA, 2000)

2.2 Nederland en het water: verleden en toekomst

‘God made the earth, but the Dutch made The Netherlands.’ Met dit gezegde is de wereldwijde bekendheid van Nederland en haar lange traditie als het gaat om het gevecht tegen het water voorgoed gewaarborgd. Het ‘maken’ van land door middel van het droogmalen van een gebied wat oorspronkelijk open water was, is een techniek welke de Nederlanders al enkele eeuwen beheersen. Het hierdoor ontstane land is lager gelegen dan het omringende water. Dit betekent dat de gebieden na de drooglegging bemalen moesten worden. Deze kunst van het afvoeren van water in deze laaggelegen gebieden vormt volgens De Vries (1980) het begin van het watermanagement in Nederland. Tot op de dag van vandaag geldt, dat deze kunst van het op peil houden van het water in de lager gelegen gebieden in Nederland voortdurend op de proef wordt gesteld en dus voortdurend bijgeschaafd zal moeten worden.

En van de belangrijkste ontwikkelingen die de aandacht op het waterpeil in de nabije toekomst zal gaan vestigen is de klimaatverandering. Volgens de gegevens die onder andere verzameld zijn door het Inter gouvernemental Panel on Climate Change (IPCC) zal het warmer worden op aarde en zal er meer neerslag vallen (Van Dorland, 2004). De oorzaken hiervan hebben volgens Van Dorland (2004) een menselijke en een natuurlijke basis. De natuur heeft haar inbreng door vulkaanuitbarstingen, de wisselingen in de sterkte van het zonlicht en El Niño. De mens beïnvloedt het klimaat door de uitstoot van broeikasgassen. De hieruit voortvloeiende opwarming van de aarde werkt als een soort katalysator op de hydrologische kringloop: de neerslagintensiteit en neerslaghoeveelheid zullen toenemen.

Concreet betekent dit niet alleen dat er wateroverlast zal ontstaan, volgens Van Dorland (2004) is er tevens kans op droogte omdat door de temperatuurstijging er in de zomer een grotere toename is van verdamping dan van neerslaghoeveelheden. Verder zal de zeespiegel stijgen als gevolg van het smelten van de ijskappen. Een en ander is hieronder in een tabel weergegeven.

Tabel 1 **Klimaatvoorspellingen voor Nederland in 2100**

	lage schatting	centrale schatting	hoge schatting
temperatuur	+1°C	+2°C	+4 tot 6°C
gemiddelde zomerneerslag	+1%	+2%	+4%
zomerverdamping	+4%	+8%	+16%
gemiddelde winterneerslag	+6%	+12%	+25%
hevigheid extreme neerslag	+10%	+20%	+40%
kans op extreme neerslag, die nu eens per 100 jaar voorkomt (≥140mm in tien dagen)	eens in 47 jaar	eens in 25 jaar	eens in 9 jaar
zeespiegelstijging	+20cm	+60cm	+110cm

(Bron: Van Dorland, 2004, gebaseerd op KNMI, 2003)

De in de tabel weergegeven gegevens in ogenschouw nemend, kan geconcludeerd worden dat het water op verschillende manieren een serieuze bedreiging kan vormen en dus kan leiden tot zware beprovingen van ons watermanagement systeem. Een stijgende zeespiegel zal van invloed zijn op de kustverdediging en zal het lozen van water op open zee lastiger maken. Door heftige regenbuien kan wateroverlast ontstaan. Verder kan door een grotere verdamping in gebieden de grondwaterstand zakken waardoor de bodem kan uitdrogen en vervolgens kan gaan dalen (Van Dorland, 2004). Al deze bedreigingen komen erop neer dat ‘de polder’ Nederland steeds dieper kan gaan worden en dat het omringende water zal stijgen, met daarbij de steeds groter wordende kans op heftige buien waardoor deze polder met water zal worden aangevuld. Of het water nu van bovenaf komt via neerslag, van onderaf via infiltratie vanuit het open water of naar boven toe gaat via verdamping, het komt hoe dan ook in contact met de grond. Een relatie tussen dit water en het water wat zich in de grond bevindt is onvermijdelijk.

Het grondwater, en de invloeden op het grondwater en van het grondwater zullen in dit onderzoek het hoofdbestanddeel vormen. Het volgende hoofdstuk gaat in op het begrip grondwater, de kenmerken van het grondwater en de problemen die het grondwater kan veroorzaken.



3 Grondwater

3.1 Grondwater en Nederland

Eenvoudig gezegd is grondwater het water wat zich in de grond bevindt. Om precies te zijn luidt de definitie van grondwater: “al het water dat zich onder het bodemoppervlak in de verzadigde zone bevindt en dat in direct contact met de bodem of ondergrond staat.” (EG 2000, p. 6). In de verzadigde zone zijn de ruimten die zich tussen de korrels waaruit de bodem is opgebouwd bevinden opgevuld met water. Grondwater komt over de hele wereld voor. In Nederland kan het grondwater op een diepte tussen de zestig meter en enkele tientallen centimeters beneden het grondoppervlak voorkomen. In Libië bijvoorbeeld komt het grondwater op een diepte van vijftienhonderd meter voor (Dufour, 1998).

Grondwater ontstaat doordat het gedeelte van de neerslag wat overblijft na verdamping infiltreert in de bodem. Na drainage, grondwaterwinning en kwel komt een groot gedeelte van het opgenomen water toch weer in het oppervlaktewater terecht. Kwel is “ (...) het uitstroomen van grondwater (...) direct aan het grondoppervlak, in sloten, drains of via capillaire opstijging.” (NHV 2002, p. 64). Het gedeelte van het water wat uiteindelijk langdurig in de grond zal blijven bedraagt ongeveer tien procent van de neerslaghoeveelheid (Dufour, 1998). In het geval van de drooggelegde gebieden, kan het hoger gelegen water van buiten deze gebieden via kwel zorgen voor een toevoer van water wat uiteindelijk in de grond van de lageregelegen gebieden terecht komt (RWS/RIZA, 2000).

Uit de voorgaande beschrijvingen kan worden opgemaakt dat Nederland met haar laaggelegen gebieden een speciale zorg verdient als het gaat om het beheersen van het grondwater. Dit komt erop neer dat het grondwater op een niveau gehouden moet worden waarbij in Nederland de voeten droog kunnen worden gehouden. Concreet betekent dit het op adequate wijze afvoeren van regenwater en van overtollig grondwater dat via kwel de polders binnentreedt. Dit gebeurt door middel van verschillende drainagemiddelen en verloopt via het oppervlaktewater. De reden hiervoor is, dat het oppervlaktewaterpeil eenvoudiger en sneller is aan te passen dan het grondwaterpeil. Dit heeft te maken met de vele obstructies die zich in de grond kunnen bevinden waardoor de stroming van het grondwater afgeremd kan worden (RWS/RIZA, 2000). Een voorbeeld hiervan is de aanleg van een tunnel, waardoor een barrière in de grond wordt opgeworpen.

3.2 Grondwaterproblemen

De problemen die zich in Nederland voordoen met grondwater hebben een belangrijke oorzaak in de bemoeienis door de mens (Dufour, 1998). Dat er zich problemen voordoen is niet verwonderlijk in een land waarvan ongeveer een kwart zich beneden de zeespiegel bevindt (Van de Ven et al. 2004). Een aanzienlijk deel van Nederland bestaat dankzij de dijken en de bemaling. Dit is echter niet alleen van toepassing op de ‘nieuwe’ ingepolderde gebieden, ook in de gebieden waar veen werd gewonnen is men van deze techniek afhankelijk. Het bemalen van gebieden is echter niet zonder gevolgen.



De noodzaak om een gebied te moeten bemalen heeft tot gevolg dat de grondwaterstand tegen het natuurlijke verloop in moet worden verlaagd. Dit kan tot gevolg hebben dat de bovenste laag van de bodem kan verdrogen. Dit verdrogingsproces kan op haar beurt weer een bodemdaling tot gevolg hebben (Dufour, 1998). Wanneer de bodem daalt en het grondwater niet meer, dan kan dit relatief gezien opnieuw een probleem vormen en kan menselijk ingrijpen wederom noodzakelijk zijn.

Grondwater kan in een te geringe mate aanwezig zijn maar ook in een te ruime mate. In beide gevallen kunnen er problemen ontstaan. Wanneer het grondwater in een te geringe mate aanwezig is, spreekt men van grondwateronderlast. Wanneer het grondwater in een te ruime mate aanwezig is spreekt men van grondwateroverlast. In beide gevallen gaat het om overlast, voor de situatie waarbij grondwater in een te geringe mate aanwezig is, is echter de term grondwateronderlast in het leven geroepen.

Overlast is een subjectief begrip (CIW, 2004). Overlast is afhankelijk van de menselijke interpretatie van een bepaalde situatie. Mensen bepalen uiteindelijk of er sprake is van overlast of niet. Het spreekt voor zich dat in dichtbevolkte gebieden dan ook vaker overlast wordt ervaren. De verschillende gevallen van overlast komen in dat geval ook eerder in de publiciteit, zeker in deze tijden van een mondiger wordende burger. Wanneer in het stedelijk gebied een riolering wordt vervangen waardoor de grondwaterstand stijgt, zullen meer mensen te maken kunnen krijgen met overlast.

De concrete problemen die zich in ons land voor kunnen doen met grondwater zullen in de volgende paragrafen worden beschreven. Hierbij zullen tevens oorzaken, gevolgen en maatregelen aan de orde komen.

3.3 Grondwateroverlast

Zoals al eerder in dit hoofdstuk al aan de orde is gekomen, kan het grondwater zowel van bovenaf als van onderaf worden aangevuld. De aanvoer van grondwater is noodzakelijk om de grondwaterstand op een dusdanig niveau te houden dat verdroging voorkomen wordt en dat de natuur en de landbouw bij een dergelijke grondwaterstand goed kunnen gedijen. Deze toevoer van grondwater kan de noodzakelijke of de benodigde hoeveelheid grondwater overschrijden. Als deze overschrijding de "(...) gebruiksfunctie van een perceel aantast (...) is er sprake van grondwateroverlast" (KPMG/Grontmij 2001, p.69). In hetzelfde KPMG/Grontmij rapport wordt aangegeven dat het hierbij wel een structurele overschrijding betreft. Incidenten worden hiertoe niet gerekend.

3.4 Oorzaken grondwateroverlast

De oorzaken van grondwateroverlast zijn niet in zijn geheel toe te schrijven aan een te grote toevoer van water via neerslag of infiltratie, zo blijkt uit de studie van KPMG/Grontmij (2001). Bij de keuze van een locatie voor een gebouw, voor landbouw of voor natuurontwikkeling kan ook onvoldoende gekeken zijn naar de grondwaterstand. Tevens kan er in de ontwerpfase onvoldoende rekening gehouden zijn met de grondwaterstand ter plaatse. Een andere mogelijkheid is dat de bodem inklinkt waardoor het grondwater relatief gezien hoger komt te staan. Samengevat kunnen de invloedsvelden van grondwateroverlast in onderstaande tabel worden weergegeven.



Tabel 2 **Invloedsvelden grondwateroverlast**

invloedsveld	invloed
waterbeheer	infiltratie/afvoer oppervlaktewater + hemelwater, onttrekken grondwater
stedelijk-/gebouwbeheer	ontwerp/beheer gebouwen + openbare ruimte + infrastructuur
milieu-/bodembeheer	maatregelen inklinking + verdroging
ruimtelijke ordening	bestemmingen + locatiekeuze

(Bron: CIW, 2004)

3.4.1 Waterbeheer

In het waterbeheer kunnen volgens KPMG/Grontmij (2001) verschillende oorzaken voor grondwateroverlast gevonden worden.

In de eerste plaats kan de afvoer van grondwater stagneren. Deze afvoer kan worden tegengewerkt door een verhoogd oppervlaktewaterpeil, waardoor er een te gering niveauverschil ontstaat en de afvoerstroom wordt afgeremd. Een andere oorzaak kan een falend drainagesysteem zijn waardoor de grondwaterafvoer wordt belemmerd.

In de tweede plaats kan de toevoer van grondwater toenemen als gevolg van ingrepen in het waterbeheer. Een van de oorzaken is het stopzetten van het onttrekken van grondwater aan de grond. De meest voorkomende grondwateronttrekkingen in Nederland zijn industriële onttekkingsen en onttekkingsen ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Bij industriële onttekkingsen gaat het vooral om het benutten van grondwater als proceswater, spoelwater of koelwater. De stopzetting van de onttekkingsen kan naast een bedrijfseconomische reden ook andere redenen hebben. Zo kan verdrogingsbestrijding een reden zijn om de onttekkingsen te stoppen, of kan het onttrekken van oppervlaktewater in plaats van grondwater een reden zijn om de onttekkingsen te verminderen.

Een andere oorzaak voor het vergroten van de aanvoer van grondwater kan gelegen zijn in de hemelwaterafvoer die in het kader van het duurzaam bouwen van het rioleringsstelsel wordt afgekoppeld. Het hemelwater wordt dan soms afgevoerd via de grond, wat een extra aanvoer van grondwater betekent.

3.4.2 Milieu- en bodembeheer

Een duidelijk raakvlak met het waterbeheer heeft het milieu- en/of bodembeheer, daar waar het grondwateroverlast betreft. Dit heeft te maken met het bestrijden van gronden die bedreigd worden met verdroging. De verdroging kan in bijvoorbeeld natuurgebieden tot problemen leiden, wanneer de beplanting onvoldoende water kan opnemen. De bestrijding van de verdroging houdt meestal het verhogen van het oppervlaktewaterpeil in. In omliggende gebieden kan dit een verhoging van de grondwaterstand tot gevolg hebben die overlast kan veroorzaken.

Verdroging heeft een direct verband met bodemdaling (KPMG/Grontmij, 2001). Bodemdaling kan ontstaan als de grond verdroogt als gevolg van een dalende grondwaterstand. Er is dan een verminderde opwaartse druk van het grondwater waardoor de bodem inklinkt onder invloed van haar eigen gewicht (Grontmij, 2005). Gaswinning kan een andere oorzaak van bodemdaling vormen waarbij ook de opwaartse druk verlaagd wordt. Twee andere oorzaken van bodemdaling zijn het oxideren van veengronden en het zetten van kleigronden (KPMG/Grontmij, 2001). Veen oxideert als het grondwaterpeil zakt en er zuurstof bij het veen kan komen. Het veen 'verbrandt' dan als het ware. Het zetten van kleigronden gebeurt door een belasting van de grond van bovenaf (Grontmij, 2005). Tenslotte kan een daling van de bodem ook het gevolg zijn van krimp. Hierbij krimpt de grond als gevolg van de verdamping van het in de bovenste laag tussen de korrels aanwezige vocht (Dufour, 1998). Zoals eerder al aangegeven komt het grondwater relatief hoger te staan op plaatsen waar de bodem daalt.



Dit kan tot overlast leiden. Acties die tot doel hebben deze bodemdaling als gevolg van verdroging tegen te gaan, kunnen dus op hun beurt eveneens elders overlast veroorzaken.

Indirect kan het verdrogingsproces dus leiden tot grondwateroverlast (Dufour, 1998).

3.4.3 Stedelijk beheer en gebouwbeheer

Voor het stedelijk- en gebouwbeheer geldt ook dat er een aantal oorzaken voor grondwateroverlast te benoemen zijn, aldus KPMG/Grontmij (2001).

In de eerste plaats speelt ook hier de afvoer een belangrijke rol. Bij het bouwrijp maken van gronden kan een afvoersysteem voor zowel hemelwater als grondwater zijn aangelegd dat onvoldoende effectief is of onvoldoende onderhouden wordt.

In de tweede plaats kan de vervanging van een lekkende riolering leiden tot grondwateroverlast. Water wat voor de vervanging door de lekken in het riole-ringssysteem kon wegstromen, komt nu regelrecht in het grondwater terecht waardoor de grondwaterstand kan stijgen.

Als derde oorzaak in de ondergrondse infrastructuur kan het aanleggen van ondergrondse constructies genoemd worden. Deze kunnen een blokkade vormen voor de (afvoer)stroming van het grondwater.

Bovengronds zijn er volgens KPMG/Grontmij (2001) eveneens een aantal factoren te noemen die als veroorzaker van grondwateroverlast kunnen worden aangewezen. In de eerste plaats kan er in het ontwerp onvoldoende aandacht zijn besteed aan de grondwaterstand (in sommige gevallen was dit ten tijde van de bouw wellicht niet noodzakelijk). Het bouwterrein kan hierdoor niet hoog genoeg gelegen zijn waardoor het grondwater zich te dicht onder het maaiveld bevindt. Dit kan ernstige gevolgen hebben voor gebouwen en beplanting. Het kan tevens zo zijn dat er voor bouwmaterialen of beplanting is gekozen die niet bestand zijn tegen hoge grondwaterstanden. Bij gebouwen kan gebrekkig onderhoud of ouderdom ook een oorzaak zijn van grondwateroverlast. Constructies die ooit waterdicht waren kunnen hierdoor gaan lekken. Dit geldt ook voor verbouwingen van gebouwen waardoor de bestaande constructie gebreken kan gaan vertonen en dan niet meer waterdicht is.

3.4.4 Ruimtelijke ordening

Tenslotte is er het gebied van de ruimtelijke ordening waarin ook een aantal oorzaken voor grondwateroverlast te benoemen zijn (CIW, 2004). Het betreft hier procedures ten aanzien van de bestemmingen van gronden. Bij de totstandkoming van de bestemmingen van gronden kan onvoldoende rekening zijn gehouden met de grondwaterstanden op de betreffende locaties. Gebieden die gezien hun te hoge grondwaterstand ongeschikt zijn voor een op die plek geplande functie kunnen voor problemen gaan zorgen, terwijl andere functies juist heel geschikt zouden kunnen zijn als bestemming voor hetzelfde gebied. Op deze manier kan bij de planvorming bij voorbaat al rekening worden gehouden met mogelijke grondwaterproblemen.

3.5 Gevolgen grondwateroverlast

Grondwateroverlast is een probleem wat zich acuut kan voordoen. Het meest in het oog springend is het, wanneer de overlast zich bovengronds voordoet. Dit kan zijn in de vorm van ondergelopen weilanden, parken of tuinen waardoor de begroeiing aangetast kan worden. Het kan echter ook zo zijn dat het water niet direct zichtbaar is maar wel degelijk overlast veroorzaakt. In het rapport van KPMG/Grontmij (2001) wordt een aantal gevolgen beschreven van grondwateroverlast. De gevolgen waarbij echt water zichtbaar is zijn water in de kelder en water in de kruipruimten.



Water in de kelders ontstaat vaak doordat kelders niet waterdicht blijken te zijn. Water in de kruipruimten kan ertoe leiden dat leidingen die door de kruipruimte lopen gaan oxideren of dat bovenliggende houten vloerdelen gaan schimmelen en kunnen gaan rotten. Via de fundering kan ook vocht optrekken en in de vloeren en muren terecht komen. Dit kan zich uiten in vocht- en/of schimmelplekken op de muren. Vochtproblemen kunnen het binnenklimaat van een woning dusdanig aantasten dat het de gezondheid kan schaden.

Als gevolg van de toenemende aandacht voor het meervoudig ruimtegebruik neemt het aantal parkeergarages in Nederland sterk toe. Uit gegevens van de constructieafdeling van Grontmij blijkt dat bij de bouw van parkeergarages de grondwaterstand een belangrijke bepalende factor is. Dit heeft te maken met de opwaartse druk die het grondwater veroorzaakt. Wanneer het grondwater stijgt, neemt de druk op de keldervloer toe. Door deze druk kan er scheurvorming in de keldervloer optreden omdat de constructie niet op deze druk berekend is. Via deze scheuren kan er water de kelder binnensijpelen. In de constructies van parkeerkelders wordt rekening gehouden met extremen en als deze niet bekend zijn wordt er vaak een aanname gedaan. Vervolgens wordt er dan nog met een veiligheidsfactor in de constructies gerekend. Als het grondwater deze marge overschrijdt, zouden de genoemde problemen kunnen optreden.

3.6 Grondwateronderlast

Behalve teveel grondwater kan ook een tekort aan grondwater voor problemen zorgen. Wanneer de grondwaterstand structureel dusdanig laag is dat de aan een perceel toegekende functie aangetast wordt, is er sprake van grondwateronderlast (CIW, 2004). Dit hoeft niet alleen te maken te hebben met de eerdergenoemde bemaling ten behoeve van het behouden van droge voeten in ons land. De oorzaken van grondwateronderlast zullen in de volgende paragraaf worden beschreven.

3.7 Oorzaken grondwateronderlast

De oorzaken van grondwateronderlast kunnen volgens nagenoeg dezelfde invloedsvelden worden beschreven als de oorzaken van grondwateroverlast. De tabel met daarin de invloedsvelden voor grondwateroverlast is dan ook in grote lijnen van toepassing op de grondwateronderlast, op de maatregelen tegen inklinking en verdroging na. Hiervoor in de plaats zouden maatregelen genoemd kunnen worden die genomen worden als reactie op de bodemdaling. Op welke wijze de invloedsvelden een rol spelen bij de grondwateronderlast zal in deze paragraaf beknopt worden weergegeven.

3.7.1 Waterbeheer

De grondwaterstand kan op verschillende manieren dalen, zo blijkt uit het rapport van KPMG/Grontmij (2001). Een grondwaterstanddaling kan optreden door de afvoer van grondwater. Deze afvoer van grondwater kan plaatsvinden doordat het oppervlaktewaterpeil in een bepaald gebied wordt verlaagd, waardoor het water uit de grond 'wegloopt'. Een verlaging van het oppervlaktewaterpeil kan verschillende aanleidingen hebben. Een van de aanleidingen kan een teveel aan water voor landbouwdoeleinden zijn. Dufour (1998) voegt hieraan toe dat de Ruilverkavelingswet van 1955 als een belangrijke oorzaak van een sterke toename in de afvoer van water genoemd kan worden. Deze wet voorzag in een breed scala aan maatregelen die de afvoer van water uit landbouwgebieden moesten bespoedigen, dit ten gunste van de agrarische sector.

Grondwater kan ook bewust aan de grond worden onttrokken. Het doel van deze onttrekkingen is in de vorige paragraaf reeds beschreven. Het onttrekken van water aan de grond kan tot een structurele daling van de grondwaterstand leiden (KPMG/Grontmij, 2001).



3.7.2 Milieu- en bodembeheer

Een andere aanleiding kan de al eerder beschreven daling van de bodem zijn als gevolg van een verdrogende bodem (KPMG/Grontmij, 2001). Het verdrogen van de bodem kan plaatsvinden als de aanvoer van water vermindert waardoor de grondwaterstand daalt. Deze vermindering kan het gevolg zijn van een verminderde hoeveelheid neerslag die in de grond terecht komt. Dit kan het geval zijn wanneer de verdamping toeneemt.

Om bij bodemdaling de relatieve stijging van het grondwater teniet te doen wordt veelal het oppervlaktewaterpeil verlaagd. Dit kan elders tot grondwateronderlast leiden.

3.7.3 Stedelijk beheer en gebouwbeheer

Andere wijzen van afvoeren van grondwater waardoor problemen op kunnen treden hebben betrekking op het beheer van de stedelijke omgeving (KPMG/Grontmij, 2001). Een van deze wijzen betreft het afvoeren van grondwater door reeds genoemde lekkende rioleringen. Via de lekkages in rioleringsbuizen verdwijnt het grondwater in het rioleringssysteem. Deze onbedoelde afvoer van grondwater kan een grondwaterstanddaling tot gevolg hebben.

Daarnaast is er via de afvoer van hemelwater een manier om weliswaar indirect grondwater af te voeren. Wanneer in de stedelijke omgeving een gebied wordt bebouwd en het hemelwater wordt afgevoerd via de riolering, dan zal er op deze manier minder water in de grond terechtkomen. Deze bedoelde afvoer van hemelwater kan hierdoor onbedoeld tot een daling van de grondwaterstand leiden.

3.7.4 Ruimtelijke ordening

Voor wat betreft de ruimtelijke ordening kunnen een aantal oorzaken voor grondwateronderlast benoemd worden die door de CIW (2004) ook voor grondwateroverlast gelden. Ook hier betreft het oorzaken die zijn gelegen in de procedures die ten grondslag liggen aan de toekenning van bestemmingen aan gronden. Ook hier kan het meenemen van dalende grondwaterstanden in de totstandkoming van ruimtelijke plannen problemen met grondwater in de toekomst verminderen.

3.8 Gevolgen grondwateronderlast

Een structureel te lage grondwaterstand kan verregaande gevolgen hebben voor datgene wat er zich boven de grond afspeelt. Een van de meest voor de hand liggende gevolgen is de invloed op de beplanting. Door een te lage grondwaterstand kan de beplanting onvoldoende water opnemen uit de bodem waardoor er schade op kan treden aan de beplanting. Dit geldt voor zowel landbouwgebieden als (waterrijke) natuurgebieden.

Een ander gevolg is al eerder in dit hoofdstuk aan de orde geweest, namelijk het dalen van de bodem door inklinking, zetting of oxidatie wanneer de grondwaterstand verlaagd wordt. De daling van de bodem kan indirect invloed hebben op de relatieve grondwaterstand, deze zal stijgen als de bodem daalt, maar de bodemdaling kan ook directe gevolgen hebben voor het bebouwde oppervlak. Gebouwen kunnen als gevolg van een bodemdaling gaan verzakken en kunnen scheuren gaan vertonen (KPMG/Grontmij, 2001). Het verzakkingprobleem is met name aan de orde bij gebouwen die gefundeerd zijn op staal, zo blijkt uit de informatie die aanwezig is binnen de constructieafdeling van Grontmij. Een fundering op staal die hier extra gevoelig voor is, is de gemetselde fundering die vooral bij oude gebouwen is toegepast. Deze fundering rust op een draagkrachtige laag in de grond. De draagkracht van de grond wordt bepaald door de korrelspanning. Als het water uit de draagkrachtige laag verdwijnt, daalt de korrelspanning. Hierdoor neemt de draagkracht af en kan het gebouw gaan zakken.



De huidige betonfunderingen op staal zijn hier minder gevoelig voor omdat de kwaliteit van de funderingen ervoor zorgt dat de spanningsveranderingen in de grond beter kunnen worden opgevangen. Parkeergarages zouden zich eveneens opnieuw kunnen gaan zetten als gevolg van een verlaagde korrelspanning. Scheurvorming kan lekkage tot gevolg hebben. Door verzakkingen kunnen tevens leidingen lek raken, kunnen ramen breken en kozijnen scheluw worden. Ook vloeren kunnen scheefzakken en muren kunnen vervormen. In het ergste geval kunnen in de gebouwconstructie opleggingen verkleind worden wat de gehele constructie van het gebouw instabiel kan maken (SBR, 1998). Bij een scheefgezakt gebouw kan eveneens het afschot van de goten teniet gedaan zijn waardoor de regenwaterafvoer stagneert en er lekkages kunnen ontstaan.

Een fundering op palen kan door een daling van de grondwaterstand zakken als gevolg van het verschijnsel ‘negatieve kleeft’. Dit verschijnsel treedt op wanneer funderingspalen op hun plaats worden gehouden door de kleeftkracht van de grond in plaats van dat ze stuiten op een harde ondergrond. Wanneer het water uit die kleeftlagen wegtrekt neemt de kleeftkracht van de grond af en kunnen de palen uit de kleeftlagen wegglijden (KPMG/Grontmij, 2001).

Een ander probleem komt voor bij funderingen op houten palen waaromheen het grondwater wordt verlaagd. Door het verlagen van de grondwaterstand kunnen de palen in aanraking komen met zuurstof. De zuurstof zorgt ervoor dat schimmels die het hout kunnen aantasten goed kunnen gedijen. De schimmels zetten dan een rottingsproces van de palen in gang (SBR, 1998). Deze vorm van aantasting is wel bekend onder de naam ‘paalrot’ (KPMG/Grontmij, 2001).

De gevolgen van grondwateronderlast doen zich niet voor in acute situaties, zoals dat bij grondwateroverlast het geval is. Het geleidelijke verloop van deze processen doet de aandacht voor de gevolgen van grondwateronderlast in de publiciteit wat naar de achtergrond verdrijven, in vergelijking tot de grondwateroverlast. Dit verandert echter als de ondergrondse veranderingsprocessen hun uitwerking hebben op datgene wat er zich boven de grond afspeelt (KPMG/Grontmij, 2001).

Tot nu toe zijn in dit hoofdstuk het grondwater en de grondwaterproblemen met de daarbijbehorende oorzaken en gevolgen aan de orde geweest. Omdat dit onderzoek zich met name richt op de gevolgen van wisselende grondwaterstanden, is een beschrijving van de maatregelen in dit hoofdstuk achterwege gelaten. Een beschrijving van de verschillende maatregelen die de verschillende actoren kunnen treffen om de grondwaterproblemen aan te pakken is opgenomen in bijlage twee. Dit geldt ook voor een overzichtstabel met daarin opgenomen de oorzaken, gevolgen, maatregelen en actoren.



3.9 Grondwater en de toekomst

Een belangrijke factor voor het toekomstperspectief van grondwater is de klimaatverandering. De verwachting is dat de hevigheid van de neerslag zal toenemen en tegelijkertijd zal de verdamping in de zomer toenemen als gevolg van een stijgende temperatuur. Dit betekent enerzijds kans op grondwateroverlast en anderzijds kans op grondwateronderlast. Variaties in grondwaterstanden zullen hiermee extremer kunnen worden. Dit betekent een onzekerheid ten aanzien van de toekomstige grondwaterstanden; er zal dus meer rekening moeten worden gehouden met extremen. Dit betekent dat constructies van bouwwerken berekend zullen moeten worden op deze extremen, met als gevolg dat constructies duurder zullen worden.

De grondwaterstand kan tevens stijgen doordat de hoeveelheid kwelwater toeneemt als gevolg van de stijgende zeespiegel (CIW, 2004). Een ander aspect dat door het CIW (2004) wordt genoemd waardoor het grondwater verder kan gaan stijgen is de toenemende vraag naar gebouwen met als gevolg dat er steeds meer gebieden worden bebouwd. Hierdoor komt er minder hemelwater in het grondwater terecht en kan de grondwaterstand zakken. Deze toenemende vraag naar gebouwen zal in het kleine Nederland de roep om meervoudig ruimtegebruik in de toekomst kunnen gaan vergroten. Een van de consequenties kan dan zijn een toename in het ondergronds bouwen. Ondergrondse bouwwerken kunnen als een blokkade voor het grondwater fungeren.

Het aspect duurzaam bouwen dat zijn intrede heeft gedaan, heeft geleid tot maatregelen betreffende het duurzaam gebruik van onder andere energie. Gebouwen zijn hierdoor in de loop der tijd beter geïsoleerd wat betekent dat een goede ventilatie lastiger te realiseren is. In het geval van optrekkend vocht als gevolg van een gestegen grondwaterstand kunnen problemen hierdoor eerder manifest worden (KPMG/Grontmij, 2001). Een andere ingreep in het kader van duurzaam bouwen is het afkoppelen van de hemelwaterafvoer van de riolering, zodat het hemelwater kan infiltreren in de grond. Deze ingreep kan een verhoging van de grondwaterstand tot gevolg hebben, aldus KPMG/Grontmij (2001).

De nieuwe gemeentelijke rioleringsplannen hebben tot gevolg dat er meer en meer oude rioleringen worden vervangen en vervangen zullen gaan worden. In het geval van oude, lekkende rioleringen die in de loop der tijd ook als grondwaterafvoer zijn gaan dienen, kan het vervangen hiervan tot een stijging van het grondwater leiden (CIW, 2004).

Tenslotte kan worden genoemd dat in de toekomst grondwateronttrekkingen kunnen worden stopgezet waardoor de grondwaterstand zou kunnen gaan stijgen. Grondwateronttrekkingen kunnen worden stopgezet om bedrijfseconomische redenen, vanwege het aanboren van alternatieve waterbronnen of vanwege veranderingen in de ruimtelijke ordeningsplannen voor het betreffende gebied (CIW, 2004).

Geconcludeerd kan worden dat de aandacht op het grondwater gevestigd zal moeten blijven in een land waaromheen de zeespiegel stijgt en waarin het land kan gaan dalen. Reacties op bedreigingen als bodemdaling zullen zorgvuldig geanalyseerd en voorbereid moeten worden om verergering van de problemen elders te voorkomen. Dit zal niet alleen gelden voor het waterbeheer en het milieu/bodembeheer, maar ook voor het stedelijk- en gebouwbeheer en de ruimtelijke ordening. De problemen kunnen niet meer opgelost worden op de manier zoals dat in Nederland gebruikelijk was, namelijk door het water de kant op te sturen die wenselijk was voor de inrichting van het land. De Nederlandse landinrichting zal zich in de toekomst meer en meer moeten aanpassen aan het water in plaats van omgekeerd (Voogd, 2001).



Dit onderzoek richt zich zoals gezegd op de technische en economische gevolgen van de grondwaterproblematiek voor de bebouwing in het oud stedelijke gebied. Het volgende hoofdstuk richt zich op het vastgoed in het oud stedelijk gebied in relatie tot het grondwater.



4 Stad, vastgoed en grondwater

4.1 Stedelijk gebied en grondwater

Uit het vorige hoofdstuk kan worden opgemaakt dat de effecten van een te hoge of te lage grondwaterstand juist voor het bebouwd gebied van grote invloed zijn. Voorbeelden als lekkende rioleringen, het niet voldoen van de wijze van bouwrijp maken van gronden, het stopzetten van grondwateronttrekkingen en het op grote schaal bebouwen van gronden zijn oorzaken van grondwaterproblemen die zich voornamelijk voordoen in en om het stedelijk gebied. Hetzelfde geldt voor de gevolgen van grondwaterproblemen, die voor een belangrijk deel de bebouwing treffen. Een overvloed of een tekort aan grondwater kan niet alleen bij de bebouwing voor problemen zorgen, maar ook bij de (omliggende) grond.

De bebouwing die al jaren in het binnenstedelijk gebied aanwezig is, is gebouwd op basis van de in het bouwjaar voorkomende omstandigheden omtrent de bodem- en grondwatertoestand. Een verandering van de bodem- en/of grondwatertoestand kan funest zijn voor deze gebouwen.

Bouwactiviteiten kunnen in de loop der tijd het bodemprofiel in het stedelijk gebied dusdanig veranderen, dat dit consequenties heeft voor het grondwaterpeil. In oude binnensteden, waar door de eeuwen heen veel is gebouwd, kan het grondwaterpeil daardoor van plaats tot plaats verschillend zijn. Grondlagen waarmee bouwterreinen bouwrijp zijn gemaakt kunnen de stroming van het grondwater beïnvloeden (VROM, 2000). In het huidige, oude binnenstedelijke gebied kan bijvoorbeeld de aanleg van ondergrondse infrastructuur, zoals parkeergarages en ondertunnelingen, een verandering in het grondwaterpeil tot gevolg hebben. Een verlaging of een verhoging van de grondwaterstand kan voor problemen zorgen. Voor het oud stedelijk gebied kunnen een aantal specifieke oorzaken worden benoemd.

4.1.1 Oud stedelijk gebied en grondwateronderlast

Een verlaging van de grondwaterstand in het stedelijk gebied kan verschillende oorzaken hebben. De oorzaken die een relatie hebben met het oud stedelijk gebied zijn lekkende rioleringen die als drainage kunnen gaan fungeren en het bebouwen van gronden waardoor de infiltratie van regenwater afneemt.

De oorzaken van het lek raken van rioleringen in het oude(re) stedelijke gebied heeft voor een belangrijk deel te maken met de ouderdom van de rioleringsbuizen, zo blijkt uit gegevens van rioleringsdeskundigen binnen Grontmij. Met name voor 1965 werden rioleringen aangelegd die bestonden uit buizen van een meter lang die nagenoeg koud tegen elkaar aan lagen met een teerachtige of later rubberachtige afdichting. Deze buizen waren gevoelig voor bewegingen in de grond en raakten daarom vaak lek op de aansluitingspunten. Dit buizensysteem is gebruikt vanaf ongeveer 1925. Na 1965 deden de buizen van twee meter haar intrede met een verbeterde mof-spieverbinding, die bewegingen beter kon opvangen. Uit cijfers blijkt dat het aantal van het oudere type nog aanwezige rioleringen in Nederland rond de 20 procent ligt (RIONED, 2005).

De bebouwingsgraad is voornamelijk in het oude(re) stedelijke gebied in de loop der tijd aanzienlijk toegenomen (VROM, 2000).



Het gedachtegoed van de compacte stad, dat halverwege de jaren tachtig zijn intrede deed, heeft dit verdichtingsproces in de afgelopen jaren nog eens versterkt. Een toenemende bebouwingsgraad kan de infiltratie van regenwater verkleinen. Hierdoor kan de grondwaterstand dalen. Een grondwaterstandverlaging kan een bodemdaling tot gevolg hebben. Door bodemdaling kunnen met name gebouwen die op een gemetselde fundering op staal rusten gaan verzakken. De constructie van een gemetselde fundering op staal komt met name voor bij oude gebouwen. De introductie van beton als bouw materiaal, rond 1920, luidde geleidelijk aan het einde in van de toepassing van metselwerk in funderingsconstructies (VROM, 2000). Verzakkingen kunnen eveneens optreden bij gebouwen waarvan de houten funderingspalen zijn vergaan als gevolg van een schimmelaantasting die ontstaat door een verlaagde grondwaterstand. De fundering op houten palen is een veelvoorkomend fenomeen bij oude gebouwen. De constructie werd tot in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw veelvuldig toegepast (VROM, 2000).

4.1.2 Oud stedelijk gebied en grondwateroverlast

Een gemetselde funderingsmuur, die eveneens werd toegepast op houten funderingspalen, kan zorgen voor optrekkend vocht. Dit kan gebeuren wanneer de grondwaterstand stijgt.

Voor houten beganegrondvloeren geldt, dat zij als gevolg van een stijgende grondwaterstand kunnen gaan rotten. Houten beganegrondvloeren zijn tevens vaak damp-open en kunnen bij een hoge grondwaterstand zorgen voor een vochtig binnenmilieu. Houten beganegrondvloeren werden toegepast bij gebouwen tot ongeveer halverwege de jaren zestig (dS+V, 2006).

Bij betonnen vloerconstructies doen zich in principe geen problemen voor. Betonnen vloerconstructies hebben echter niet van begin af aan de vochtproblemen opgelost. Bij gebouwen met het bouwjaar tot 1992 waren lekken in aansluitingen en sparingen een belangrijke oorzaak van vochtproblemen. In 1992 werd in het Bouwbesluit vastgelegd dat beganegrondvloeren honderd procent luchtdicht (en dus ook dampdicht) dienden te zijn. Vanaf dat moment kan gesteld worden dat betonnen vloerconstructies geen vochtproblemen meer kunnen opleveren (dS+V, 2006).

Een stijgende grondwaterstand kan veroorzaakt worden door een tweetal, voor het oud stedelijk gebied specifieke factoren. In de eerste plaats kan bodemdaling een relatieve stijging van het grondwater tot gevolg hebben. In de tweede plaats kan de vervanging van oude, lekkende rioleringen tot een stijging van de grondwaterstand leiden. Bij beide oorzaken voldoet de manier waarop het bouwerrein ooit bouwrijp is gemaakt niet meer aan de veranderde grondwaterstand waardoor er overlast ontstaat. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat ook de ouderdom van het drainagestelsel wat ten tijde van het bouwrijp maken van de grond is aangelegd een rol kan spelen. Dit kan als gevolg hiervan onvoldoende functioneren waardoor het water niet goed afgevoerd kan worden.

Als laatste verandering die zich in het oude stedelijke gebied voordoet moet de ouderdom van de gebouwen worden genoemd. Door ouderdom kunnen constructies die ooit waterdicht waren gaan lekken. Het spreekt voor zich dat ouderdom bij gebouwen in oud stedelijk gebied een grotere rol speelt dan bij recenter bebouwde gebieden. De gemiddelde technische levensduur van een gebouw bedraagt ongeveer 50 jaar (DHV, 2000). Gemiddeld genomen zal daarna renovatie moeten plaatsvinden. Dit getal als uitgangspunt nemend, zouden in ieder geval bij gebouwen ouder dan 50 jaar problemen kunnen optreden. Deze panden behoren tot de oudere delen van binnensteden.



4.2 Vastgoed in oud stedelijk gebied

Uit het bovenstaande blijkt dat er een relatie bestaat tussen het oude stedelijke gebied en de grondwaterproblemen. Het oude stedelijke gebied is vaak rijk aan monumenten. Onder monumenten worden ook gebouwen gerekend die voor de tweede wereldoorlog zijn gebouwd en zelfs gebouwen die in de periode van de wederopbouw zijn gebouwd. Landelijk heeft een Monumenten Inventarisatie Project plaatsgevonden vanuit het rijk, welke gericht was op gebouwen uit de periode 1850-1940. In navolging hiervan is een landelijk project gestart gericht op de wederopbouwarchitectuur, tot ongeveer 1965 (Gemeente Dordrecht, 2004). De aandacht werd hiermee gevestigd op de jongere bouwkunst. Dit in tegenstelling tot wat jarenlang gebruikelijk was in de monumentenzorg, namelijk de focus op de bouwkunst van voor die tijd. In dezelfde beleidsnota van de gemeente Dordrecht wordt een monument dan ook gedefinieerd als “(...) een object of complex ouder dan 50 jaar en belangrijk door de schoonheid, betekenis of cultuurhistorische waarde” (Gemeente Dordrecht 2004, p.11).

Omdat niet al het vastgoed in het oud stedelijk gebied als monument is aangemerkt, zullen in dit onderzoek de termen vastgoed en oud stedelijk gebied worden gebruikt. Dit in plaats van de termen monumenten of monumentale binnensteden. De bovengenoemde bouwperiodes zijn in het kader van dit onderzoek gekoppeld aan de termen vastgoed en oud stedelijk gebied.

De relatie met het vastgoed heeft, haast vanzelfsprekend, vooral betrekking op het gedeelte van het vastgoed wat zich onder de grond bevindt: de fundering. In oude binnensteden kunnen toegepaste funderingstypen van plaats tot plaats sterk verschillen (VROM, 2000). In veel Nederlandse oude binnensteden zijn twee funderingstypen te onderscheiden die in de loop der tijd zijn toegepast, namelijk de fundering op staal en de fundering op palen (Van Etten et al. 2000).

De aanlegdiepte van deze funderingen werd vroeger bepaald aan de hand van het oppervlaktewaterpeil en het grondwaterpeil. Deze relatie werd gelegd omdat men in vroeger tijden weinig mogelijkheden had om de grondwaterstand te beïnvloeden. Beïnvloeding via het oppervlaktewaterpeil was een van de weinige opties (VROM, 2000). Tegenwoordig is de stuurbaarheid van de grondwaterstand door verandering van het oppervlaktewaterpeil beperkter geworden. Dit komt door het van plaats tot plaats sterk wisselende bodemprofiel in het oude stedelijke gebied (VROM 2000). Volgens VROM werd de aanlegdiepte in veel gevallen bijgesteld tijdens de bouw. De hoogte van het grondwater op dat moment was in die gevallen maatgevend.

Dit ‘nattevingerwerk’ kan bij onvoorziene wisselingen in de grondwaterstand voor funderingsproblemen zorgen. Funderingen in het oude stedelijke gebied kunnen hiermee als gevoelig worden beschouwd voor fluctuaties in het grondwater.

4.2.1 Fundering op palen

Met een fundering op palen wordt een fundering bedoeld waarbij de funderingsmuur rust op palen die in de grond zijn geheid. In Nederland vereisen vooral de laaggelegen gebieden in Nederland het gebruik van funderingspalen. Dit heeft te maken met de slechte bodemgesteldheid in deze gebieden (VROM, 2000). Deze funderingsmethode is toegepast op plaatsen waar de draagkrachtige laag op een grotere diepte lag dan twee tot drie meter. Op plaatsen waar de draagkrachtige laag op een minder grote diepte lag, werd meestal een fundering op staal toegepast (VROM, 2000). De reden voor het toepassen van een fundering op palen kan volgens het VROM-rapport te maken hebben met de hoeveelheid grond die anders ontgraven moet worden om op de draagkrachtige laag terecht te komen en de daarbij mogelijke overlast van het grondwater.



De fundering op palen bestaat uit houten palen met daarop een kesp of langshout, waar bovenop vervolgens de funderingsmuur is gemetseld (Van Eetten et al. 2000). Met de intrede van beton in de bouw in Nederland rond 1920 werden kespen en langshout varvangen door betonnen funderingsbalken die over de funderingspalen werden geplaatst (VROM, 2000). Een andere ontwikkeling die met de intrede van beton in de bouw te maken heeft is de toepassing van betonnen opzetters die op de houten palen werden geplaatst. Met deze opzetters werden de palen als het ware aan de bovenkant met beton verlengd, waardoor bovenkant van de palen ruim onder het grondwaterniveau gebracht kon worden. Bij kleinschalige woningbouwprojecten wordt een fundering op houten palen nog steeds toegepast, zonodig met betonnen opzetters (VROM, 2000).

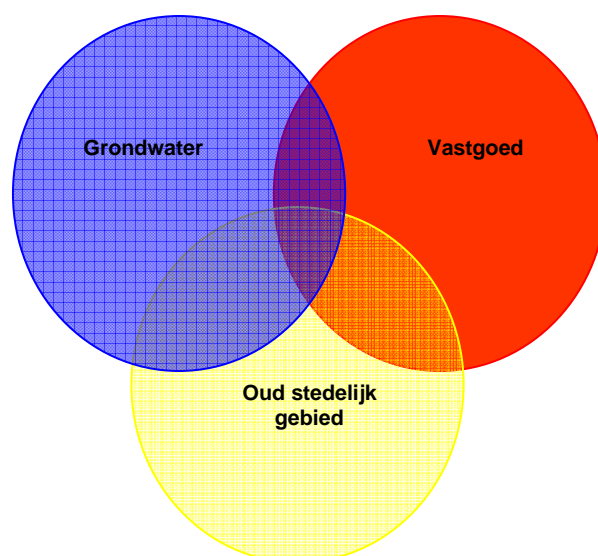
4.2.2 Fundering op staal

Met een fundering op staal wordt een constructie bedoeld waarbij de funderingsmuur direct op de draagkrachtige ondergrond is geplaatst. Wanneer de draadkrachtige ondergrond zich op een diepte van twee tot drie meter onder het maaiveld bevindt, is het uitgraven van de bouwplaats tot op de draadkrachtige laag en vervolgens opvullen met een stevige zandlaag een gebruikelijke optie (VROM, 2000). De fundering op staal bestaat bij monumentale panden uit een gemetselde funderingsmuur. De intrede van het gewapend beton in Nederland, rond 1920, luidde een periode in waarbij beton meer en meer werd toegepast in funderingsconstructies (VROM, 2000). In de periode vanaf 1920 tot aan de Tweede Wereldoorlog is het aantal gemetselde funderingen daarom geleidelijk aan afgenomen.

Grofweg kan gezegd worden dat gebouwen die voor de Tweede Wereldoorlog werden gebouwd nog vaak gefundeerd zijn op gemetselde funderingen. Sinds de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw worden gemetselde funderingsconstructies nauwelijks meer toegepast. Gemetselde funderingsconstructies werden steeds vaker vervangen door betonnen funderingsconstructies. Na de Tweede Wereldoorlog is in de periode van de wederopbouw op grote schaal beton toegepast in zowel funderings- als vloerconstructies.

4.3 Conclusies en relaties

Uit dit hoofdstuk kan geconcludeerd worden dat er een relatie bestaat tussen het grondwater en het vastgoed in het oude stedelijke gebied. Dit kan met behulp van onderstaande figuur inzichtelijk worden gemaakt.



Figuur 2 Afbakening onderzoeksveld

Het gebied middenin de figuur, waar de drie gebieden elkaar overlappen, is het onderzoeksveld waar dit onderzoek zich op richt.

Veranderingen in de bodem en het grondwaterpeil kunnen zorgen voor situaties waar de bebouwing in het oude stedelijke gebied niet op gemaakt is. Lekkende rioleringen en een toenemende bebouwing zijn de belangrijkste veroorzakers van grondwateronderlast in het oude stedelijke gebied. Een relatieve stijging van het grondwater door bodemdaling en de vervanging van oude, lekkende rioleringen kunnen een belangrijke oorzaak zijn voor grondwateroverlast. Hierbij kan de ouderdom van zowel het drainagesstelsel als van de gebouwen ook tot problemen leiden.

De funderingstypen die in oude binnensteden vaak voorkomen zijn een fundering op staal en een fundering op palen. Een fundering op staal werd vervaardigd uit baksteen metselwerk, een fundering op palen uit houten palen met daarop baksteen metselwerk. Globaal kan gezegd worden dat gebouwen die na de tweede wereldoorlog zijn gebouwd niet meer gefundeerd zijn op een gemetselde fundering. Beton werd na de Tweede Wereldoorlog op grote schaal toegepast in funderings- en vloerconstructies. Houten palen zijn na de Tweede Wereldoorlog nog wel veelvuldig toegepast, zij het vaak met betonnen opzetters en betonnen funderingsbalken. Hiermee konden de houten palen tot op grotere diepte worden gebracht waardoor droogstand kon worden voorkomen. Ook de aantasting van het langshout was hiermee van de baan.

Betonnen vloerconstructies die gebouwd zijn voor de invoering van het Bouwbesluit in 1992 kunnen waren nog niet geheel gevrijwaard van problemen. Met de invoering van het Bouwbesluit kwam hier een einde aan. Beganegrondvloerconstructies dienden vanaf toen luchtdicht (en dus dampdicht) te zijn. Houten beganegrondvloeren werden toegepast tot ongeveer halverwege de jaren zestig. Houten vloeren konden voor vochtproblemen zorgen doordat ze vaak damp-open waren. Ook konden houten vloeren gaan rotten als gevolg van een hoge grondwaterstand.

In de onderstaande figuur zijn de bouwjaren en de constructies samengevat die het oud stedelijk gebied gevoelig maken voor grondwaterproblemen. Grofweg kan gezegd worden dat het jaar 1945 als scheidingsjaar zou kunnen dienen.

Tabel 3 **Gevoeligheid bebouwing stedelijk gebied en bouwjaar**



De grootschalige toepassing van beton in funderingsconstructies na de Tweede Wereldoorlog, de vervanging van een meter lange rioleringsbuizen door twee meter lange buizen na 1965 en de gemiddelde technische levensduur van een gebouw van vijftig jaar in ogenschouw nemend, sluiten de eerder genoemde bouwjaren voor jonge monumenten hier bijna naadloos op aan.

Hiermee kan de stelling gerechtvaardigd worden dat een groot deel van de problemen met grondwater in het stedelijk gebied voor een belangrijk de monumentale bebouwing treffen.

Met het beschrijven van de grondwaterproblematiek in relatie tot het vastgoed in het oude stedelijke gebied is het onderzoeksveld afgebakend. In het nu volgende gedeelte van het onderzoek zullen de technische en economische gevolgen van de grondwaterproblematiek bij het vastgoed in het oude stedelijke gebied worden belicht. De stad Dordrecht is bereid gevonden om hiervoor model te staan. Een beschrijving van de situatie in Dordrecht is in bijlage drie opgenomen.



5 Bouwtechnische gevolgen

5.1 Aantasting houten paalfunderingen

Het eerste van de meest voorkomende bouwtechnische gevolgen van een te hoge of een te lage grondwaterstand is de aantasting van houten paalfunderingen. Houten paalfunderingen zijn al enkele eeuwen een veelvuldig toegepaste funderingsmethode in Nederland. De reden hiervoor wordt gevormd door de bodemgesteldheid die op vele plaatsen in Nederland onvoldoende geschikt is om direct de funderingsmuur op te plaatsen. Voor houten paalfunderingen zijn een aantal naaldhoutsoorten veelvuldig gebruikt in Nederland, te weten vuren, grenen, lariks en douglas. Loofhout is nauwelijks toegepast, in enkele gevallen is eiken gebruikt (Van Etten et al. 2000). Vele gebouwen in Nederland rusten al eeuwen zonder problemen op houten funderingspalen; een techniek die haar kwaliteiten in de loop der tijd heeft bewezen. Hout is een materiaal wat onder water, zonder in contact te komen met zuurstof, goed geconserveerd blijft (VROM, 2000). In de vorige paragraaf kwam al aan de orde dat de bovenkant van de houten palen met behulp van betonnen opzetters onder het grondwaterniveau gebracht worden. De reden voor het onder water brengen van de paalkoppen is gelegen in de gevoeligheid van met water verzadigd hout voor het contact met zuurstof. Komt met water verzadigd hout in contact met zuurstof, dan kunnen schimmels vrij spel krijgen en het hout aantasten (VROM, 2000). Hout wat zich onder water bevindt blijft niet in alle gevallen onaantast. Hout kan, terwijl het zich onder water bevindt en niet in contact staat met zuurstof, toch worden aangetast, zo is gebleken. Onder deze omstandigheden kunnen bacteriën het hout aantasten (SHR, 2000). In de volgende paragrafen zullen zowel schimmelaantasting als bacteriële aantasting van houten funderingspalen worden toegelicht. Een belangrijk aspect in de toelichting zal zijn, na hoe lang er constructieve schade aan de palen optreedt.

5.1.1 Schimmelaantasting houten paalfunderingen

Schimmelaantasting van houten funderingsconstructies kan zoals gezegd optreden op plaatsen waar het verzadigde funderingshout in contact komt met zuurstof. Funderingshout komt in contact met zuurstof wanneer de grondwaterstand daalt en het hout boven het grondwaterpeil uitkomt (Van Etten et al. 2000). In het tweede hoofdstuk is aan de orde geweest wat de oorzaken kunnen zijn van een verlaging van de grondwaterstand. Hier zal in deze paragraaf niet verder op worden ingegaan.

Door het droogvallen van het hout kan zuurstof het hout binnendringen waardoor een klimaat ontstaat waarbij het aantastingproces door schimmels in gang kan worden gezet. Bij droogstand maakt het water wat zich buiten de celwanden tussen de cellen van het hout bevindt plaats voor lucht wat een toevoer van zuurstof betekent (Van Etten et al. 2000).

De schimmelaantasting van houten paalfunderingen kan plaatsvinden door verschillende soorten schimmels. De soorten die het meeste voorkomen zijn blauw-schimmel, bruinrot, witrot en softrot (VROM, 2000).

Een uiteenzetting van de herkomst van schimmels en de soorten houtaantastende schimmels is in bijlage vier opgenomen.



5.1.1.1 De omstandigheden in de praktijk

In de praktijk kunnen verschillende soorten houtaantasting elkaar opvolgen. Aan de hand van een voorbeeld dat genoemd wordt door Van Etten et al. (2000) kan dit beschreven worden. Als een fundering, die onder het grondwater staat, droogvalt kan de aantasting die onder water door bacteriën heeft plaatsgevonden letterlijk openingen bieden voor schimmels en water.

De bacteriën zorgen voor die opening doordat zij de stippels aantasten. Stippels zijn openingen met membranen die zich tussen de cellen bevinden (Van Etten et al. 2000). Door de aantasting hiervan wordt de doorlatendheid van het hout vergroot. Wanneer de schimmels het hout zijn binnen gedrongen valt de bacteriële aantasting in het niet. De schimmels die weinig zuurstof nodig hebben zullen als eerste hun slag slaan, bijvoorbeeld softrotschimmels. Wanneer het zuurstofgehalte in het hout toeneemt, kunnen schimmels die een hoger zuurstofgehalte vereisen toeslaan, bijvoorbeeld bruin- en witrotschimmels. Zodra de competitie tussen de schimmels toeneemt, zullen de softrotschimmels de aantasting stoppen. Softrotschimmels gedijen niet in een competitieve omgeving met ander schimmels. Dit heeft te maken met het feit dat het aantastingsproces van softrotschimmels trager verloopt dan de andere schimmels. Wanneer het grondwaterpeil weer stijgt en de condities niet voldoen aan de zuurstofeisen van de bruin- en witrotschimmel, dan kan er een evenwichtssituatie ontstaan waarbij hetzij alleen de softrotschimmels actief zijn hetzij de schimmelaantasting vanwege zuurstofgebrek stopt. Dit is afhankelijk van de mate van stijging van het grondwater en het daarmee samenhangende zuurstofgehalte in het hout.

Met dit bovengenoemde voorbeeld is door Van Etten et al (2000) aangegeven hoe een aantastingsproces kan verlopen bij verschillende grondwaterstanden. Van Etten et al. geven, zoals reeds genoemd, een aantal bepalende factoren voor het proces van aantasting, zoals het vochtgehalte, het zuurstofgehalte, de temperatuur, de doorlatendheid van het hout en (vooral bij softrotaantasting) het stikstofgehalte van het hout. Stikstof kan in het hout terecht komen via bacteriën die stikstof aan zich kunnen binden. Temperatuurstijgingen kunnen plaatsvinden in de buurt van riolerings- of stadsverwarmingsleidingen die warmte afgeven. Over het algemeen is de temperatuur in de grond vrijwel constant en ligt rond de tien graden Celsius. De temperatuur heeft in dat geval weinig invloed op de aantastingsnelheid. Dit geldt min of meer ook voor de zuurgraad in de grond. Schimmels kunnen leven in een omgeving met een pH-waarde (zuurgraad) die ligt tussen de 1,5 en 9, met een optimum tussen de 4 en 6,5. De zuurgraad in de grond treedt hier vrijwel nooit buiten.

Voor wat betreft het vochtgehalte van het hout kan globaal gezegd worden dat er onder de 25 procent geen aantasting plaatsvindt vanwege een tekort aan vocht. Boven de 150 procent vindt er geen aantasting plaats door een overschot aan vocht, oftewel een tekort aan zuurstof.

Als laatste noemen Van Etten et al. de grondsoort die als factor van belang is voor het vervangen van water door zuurstofrijke lucht in het hout. Wanneer de grondwaterstand daalt, kan het hout gaan drogen en kan het vochtgehalte in het hout eveneens gaan afnemen. Hoe snel dit drogingsproces verloopt wordt mede bepaald door de grondsoort waarmee een funderingspaal omgeven is. In een bodemsoort met grove poriën zal water veel minder lang worden vastgehouden dan in een bodemsoort met fijne poriën. Wanneer water langer wordt vastgehouden in de grond, zal het drogingsproces minder snel verlopen en zal de zuurstoftoevoer van het hout minder snel verlopen.

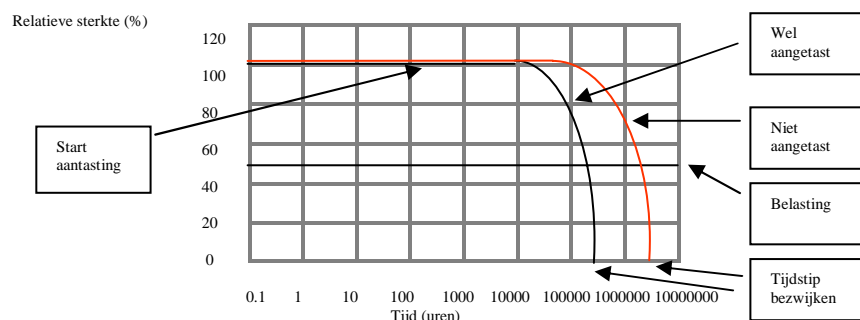


5.1.1.2 Snelheid van de aantasting

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven is het aantastingsproces afhankelijk van verschillende factoren. De snelheid van de aantasting staat hiermee in verband en is daarmee eveneens afhankelijk van deze factoren. De snelheid waarmee het aantastingsproces verloopt, is daarom moeilijk vast te stellen (Van Etten et al. 2000). Uit onderzoek is gebleken, zo schrijven Van Etten et al., dat schimmels lange tijd in leven kunnen blijven in een omgeving waarin te weinig zuurstof aanwezig is voor het groeiproces van de schimmel. Hierbij gaat het om perioden van meer dan twee jaar, en voor de sporen van schimmels veel langere perioden. Deze overlevingsmogelijkheden maken het mogelijk dat de schimmels in een paal die voor de tweede keer droogvalt gewoon verder gaan met het aantasten van de paal.

Uit het literatuuronderzoek van Van Etten et al (2000) blijkt dan ook dat de mate van aantasting ontleend kan worden aan de cumulatieve droogstandtijd. De exacte snelheid van aantasting is aan de hand hiervan nauwelijks te bepalen, omdat de factoren die beschreven zijn in de vorige paragraaf medebepalend zijn, zo blijkt uit hetzelfde onderzoek. Van Etten et al geven in hun onderzoek slechts een aantal grove aanduidingen van tijd. Een eenmalige droogstandtijd van ten hoogste enkele maanden is onschuldig. Een wisselende grondwaterstand waarbij het hout gedurende een korte periode droogvalt, zal ook niet direct tot schimmelaantasting leiden. Een voorbeeld van Peek et al (1981) wordt hierbij door van Etten et al aangehaald waarbij in de haven van Hamburg, waar funderingspalen onderhevig waren aan getijdenwisselingen, geen schimmelaantasting was opgetreden. Het hout heeft dan te weinig tijd om te drogen tot het vochtgehalte waarbij het aantastingsproces in gang wordt gezet. Ook bij een periode van droogstand van enkele weken zou volgens Van Etten et al het hout vochtig genoeg blijven zodat de aantasting uitblijft. Uit het onderzoek van Van Etten et al kan geconcludeerd worden dat slechts een grove aanname gedaan kan worden over de cumulatieve droogstandtijd waarbij de schade aan de fundering dermate groot is dat herstel zal moeten plaatsvinden. Deze cumulatieve droogstandtijd zal dan minimaal tien tot twintig jaar moeten bedragen.

De onderstaande figuur geeft dit proces globaal weer aan de hand van een paal waarop een belasting rust van de helft van de korteduursterkte. In geval van belastingen die van lange duur zijn neemt de sterkte van een paal altijd af, ongeacht een aantasting door schimmels of bacteriën (Van Etten et al. 2000). In geval van een belasting die nog van korte duur is zal het hout dus sterker zijn dan wanneer die belasting langer heeft geduurd. Deze sterkte na korte duur is dan ook het uitgangspunt voor de sterkte in de figuur. Aangenomen wordt door van Etten et al dat in dit geval de paal na ongeveer 100 jaar zal bezwijken. In geval van aantasting zal dit na zo'n 10 tot 20 jaar plaatsvinden.



Figuur 3 Levensduur houten paal met en zonder aantasting (Van Etten et al. 2000)

5.1.2 Bacteriële aantasting houten paalfunderingen

Hout wat zich geheel onder water bevindt blijft over het algemeen goed geconserveerd, of anders gezegd, blijft gevrijwaard van schimmelaantasting. De oorzaak hiervan is de te geringe zuurstofconcentratie die een aantasting door schimmels onmogelijk maakt. Bacteriën blijken in een omgeving met een zeer laag zuurstofgehalte het hout wel te kunnen aantasten (SHR, 2000).

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven richten de verschillende schimmelsoorten zich op de verschillende hoofdbestanddelen van het hout. Van de schimmelsoorten is witrot degene die zich richt op de lignine in het hout. Lignine is een stof die heel moeilijk afbreekbaar is en door geen enkel organisme helemaal afgebroken kan worden, voor zover men weet (SHR, 2000). De stof fungeert in de opbouw van de celwand als een schild. In het SHR-rapport wordt de vergelijking getrokken met de opbouw van gewapend beton: de cellulose en hemicellulose vormen als het ware de wapening (en zorgen voor de treksterkte), de lignine vormt als het ware het betonnen omhulsel (en zorgt voor de druksterkte). De conclusie die hieruit getrokken kan worden is, dat de lignine als het ware als een soort schild om cellulose en hemicellulose heen ligt. Dit betekent dat schimmelsoorten die zich richten op cellulose en hemicellulose deze lignine-barrière moeten doorbreken om bij de cellulose en hemicellulose te komen. Deze schimmelsoorten richten zich dus in zeer geringe mate ook op de lignine (SHR, 2000). Het doorbreken van dit lignine-schild is dus eigenlijk altijd nodig, op welke van de drie stoffen een organisme zich ook richt.

Voor dit doorbreken of afbreken van de lignine is zuurstof een vereiste (SHR, 2000). Dit zou betekenen dat de bacteriën die in houten palen voorkomen die zich volledig onder de grondwaterspiegel bevinden niet in helemaal zuurstofloze omstandigheden opereren. In het SHR-rapport worden uitkomsten van verschillende onderzoeken aangehaald waaruit is geconcludeerd dat, in omstandigheden zonder zuurstof, men nog nooit een aantastingsproces door bacteriën heeft kunnen ontdekken. Wel is het zo dat de zogeheten facultatief anaërobe bacteriën om in leven te blijven in plaats van zuurstof alternatieve energiebronnen kunnen gebruiken. Nitraat en ijzer zijn hier een voorbeeld van. Deze stoffen kunnen, samen met voedingsstoffen als stikstof en fosfor, het groeiproces van de bacteriën gunstig beïnvloeden (SHR, 2000).

In hout kunnen drie soorten bacteriën voorkomen, te weten primaire en secundaire houtaantastende bacteriën en houtkoloniserende bacteriën (SHR, 2000). Bijlage vier bevat een beschrijving van de soorten bacteriën en hun mogelijke herkomst.

5.1.2.1 De omstandigheden in de praktijk

Omdat er nog veel onduidelijkheden zijn over de meest voorkomende houtaantastende bacteriën en de omstandigheden waaronder deze het hout aantasten, kunnen er slechts een aantal veronderstellingen gedaan worden over het in de praktijk voorkomende aantastingsproces (VROM, 2000). Zoals al bleek uit de beschrijvingen eerder in deze paragraaf, is de aanwezigheid van zuurstof bepalend voor de aantasting van hout door bacteriën. Zuurstof is noodzakelijk bij het doorbreken of afbreken van het lignine-schild. De veronderstellingen die betrekking hebben op het aantastingsproces zijn te verdelen in twee situaties.

De eerste veronderstelling betreft de situatie waarbij de benodigde zuurstof uit de heipaal zelf wordt gehaald (VROM, 2000). In een zandachtige bodemlaag kan zuurstof aanwezig zijn, zelfs tot onder het grondwaterpeil. De zuurstof in deze zandachtige lagen kan worden aangevoerd via het grondwater. De benodigde zuurstof voor het aantastingsproces kan dan uit de omliggende zandbodem gehaald worden.



In dit verband wordt in hetzelfde VROM-rapport de relatie gelegd tussen de sleuven, die nogal eens werden gegraven om daarin de palen te heien, en de opvulling hiervan met zand.

In veenachtige bodems is deze situatie echter anders. Hierin bevindt zich enkele centimeters onder het grondwaterpeil al geen zuurstof meer omdat de zuurstof is opgebruikt voor de verbranding van de grote hoeveelheid organisch materiaal die in deze bodems voorkomt (SHR, 2000). Toch blijken houten funderingspalen in veenachtige bodems aangetast te kunnen worden, aldus de SHR. Hiervoor worden door de SHR twee aantastingsprocessen onderscheiden: het lichte aantastingsproces en het ernstige aantastingsproces. Bij het lichte aantastingsproces zouden de bacteriën gebruik maken van de aanwezige zuurstof in het hout. Als de zuurstof in het hout opraakt, komt het aantastingsproces tot stilstand. De aantasting lijkt dan ook niet verder te gaan dan een diepte van 15 millimeter, gezien vanaf de buitenste rand van de paal.

Bij het ernstige aantastingsproces dat door de SHR wordt beschreven, zou de zuurstof via het niet-aangetaste deel van de houten paal door middel van diffusie van boven naar beneden gebracht kunnen worden. De onderbouwing van deze aanname is, dat een zuurstofstroom reeds in de paal aanwezig is omdat zuurstof van het niet-aangetaste deel van de paal naar het aangetaste deel zal moeten stromen om de aantasting mogelijk te maken. De zuurstof zou aan de bovenkant van de paal onttrokken kunnen worden aan de eerder besproken zandvulling van de funderingssleuf.

Een andere mogelijkheid die de SHR geeft voor de toevoer van de benodigde zuurstof voor het ernstige aantastingsproces zou kunnen verlopen via het watertransport door het spinhout. Van grenenhout is bekend dat het spinhout (de laag 'jong' hout die zich om het kernhout bevindt) water goed doorlaat. Wanneer dit spinhout het water beter door zou laten dan de grond die zich om de heipaal bevindt, dan zou water, met zuurstof, als het ware door de paal van boven naar beneden af kunnen vloeien. Deze aanname zou volgens de SHR een relatie kunnen hebben met het feit dat het spinhout van grenen sneller aangetast lijkt te worden dan bij andere houtsoorten. Op deze twee manieren zou een zuurstoftoevoer kunnen leiden tot een ernstige aantasting van houten funderingspalen.

De tweede veronderstelling die in het VROM-rapport (2000) wordt beschreven betreft de situatie waarbij lekkende rioleringen het aantastingsproces versnellen. Dit zou mogelijk kunnen zijn op drie manieren. In de eerste plaats kan wegstromend rioolwater stoffen bevatten die door bacteriën kunnen worden gebruikt. Rioolwater kan voedingsstoffen bevatten voor de houtaantastende bacteriën, bijvoorbeeld stikstof en fosfor. Tevens kan dit rioolwater stoffen bevatten die door facultatief anaërobe bacteriën aangewend kunnen worden als alternatieve energiebron voor zuurstof. Voorbeelden hiervan zijn nitraat, sulfaat en ijzer. De toevoer van de hierboven genoemde stoffen kunnen een katalyserende werking hebben op het aantastingsproces.

In de tweede plaats kan volgens VROM het rioolwater dat uit de riolering weglekt bacteriën bevatten waaronder zich ook bacteriën zouden kunnen bevinden die mee zouden kunnen werken aan de aantasting van het hout.

In de derde plaats zou de temperatuur van het wegstromende rioolwater, waarvan aangenomen wordt dat deze hoger ligt dan de temperatuur van de ondergrond, het aantastingsproces door de bacteriën gunstig beïnvloeden, aldus VROM.

Lekkende rioleringen hebben volgens de SHR (2000) eveneens een remmende werking op de bacteriële aantasting. Dit wordt beschreven aan de hand van de zuurstof die zal worden gebruikt bij de afbraak van het organisch materiaal dat het weglekkende rioolwater bevat. De aanwezige zuurstof in de grond of het grondwater ter plaatse zal dan voor dit afbraakproces aangewend worden, wat ten koste gaat van de beschikbare zuurstof voor de houtaantastende bacteriën, aldus de SHR (2000).



De veronderstellingen geven aan dat er nog veel onbekende factoren zijn waarnaar nader onderzoek zal moeten worden verricht. Een belangrijke vraag hierbij zal zijn in hoeverre er zuurstof aanwezig is of zelfs vrijkomt in de bodem en in hoeverre de houten palen een rol spelen bij de eventuele aanvoer van zuurstof. Deze vragen zouden wellicht een antwoord kunnen geven op de vraag of er onder omstandigheden zonder zuurstof ook aantasting plaats kan vinden, zoals sommige onderzoeken doen vermoeden (VROM, 2000).

5.1.2.2 De snelheid van aantasting

De bacteriesoort die voornamelijk voorkomt in de Nederlandse houten funderingspalen is de erosiebacterie (SHR, 2000). Deze bacterie kan het hout licht aantasten, waarbij alleen de buitenkant tot een diepte van ongeveer maximaal 15 millimeter wordt aangetast, en de bacterie kan het hout ernstig aantasten. In het laatste geval kan een funderingspaal van 60 jaar oud aan de bovenkant voor 90 procent zijn aangetast (SHR, 2000). Exacte getallen over de aantastingsnelheid zijn ook bij de bacteriële houtaantasting niet te noemen, aldus het SHR-rapport. Wel worden in hetzelfde rapport globale jaartallen genoemd waarbinnen een substantiële aantasting van een funderingspaal kan optreden. In een periode van 30 tot 60 jaar kan er forse schade optreden aan houten funderingspalen. Hierbij moet gedacht worden aan een aantasting van 40 tot 80 millimeter diep. Verder blijkt uit het rapport dat er palen zijn onderzocht van 90 jaar oud waarvan de aantasting een dusdanig vergevorderd stadium had bereikt dat ingrijpen noodzakelijk was. Bij andere palen van 70 jaar oud bleek de aantasting nog niet zo erg te zijn, al moet hier wel bij gezegd worden dat het hier om verschillende locaties ging. De locatiefactoren spelen, net als bij de schimmelaantasting, een belangrijke rol bij het aantastingsproces (SHR, 2000). Deze factoren zijn onder andere de zuurstofconcentratie (mede afhankelijk van de bodemgesteldheid), de houtsoort, de dikte van het spinhout, de temperatuur, de toevoer van voedingsstoffen en mogelijke vervangende energiebronnen voor zuurstof en de toevoer van bacteriën. Verder is het vochtgehalte zeer belangrijk. Wanneer het vochtgehalte afneemt kunnen de schimmels de overhand krijgen, waartegen de bacteriën niet zijn opgewassen (SHR, 2000).

Wat wel uit de bovengenoemde jaartallen opgemaakt zou kunnen worden is, dat er binnen een tijdsbestek van zo'n 20 jaar op grote schaal grenen funderingspalen aan vervanging toe zouden kunnen zijn. In het SHR-rapport wordt hierbij de link gelegd met de jaartallen die aangeven tot wanneer er veelal grenen funderingspalen zijn toegepast. De grenen palen zijn tot in de jaren zestig veelvuldig gebruikt, met een piek in de jaren 1900 en 1930 waarin steden zich fors hebben uitgebreid. Wanneer deze jaartallen gecombineerd worden met het uitgangspunt dat grenen palen na 90 jaar maximaal zijn aangetast, levert dat een beeld op van de problemen die Nederland de komende 50 jaar nog te wachten staat.

Bij vuren palen lijkt het spinhout minder snel aangetast te worden door bacteriën dan het spinhout van grenen. Dit zou dan ook tot de conclusie kunnen leiden dat de vuren heipalen niet binnen 90 jaar tot op een gevaarlijk niveau aangetast zullen worden (SHR, 2000).

Logischerwijs zal de uiteindelijke levensduur van een funderingspaal eveneens afhankelijk zijn van de dikte van de paal en de belasting die op de paal terechtkomt. Een dikke paal zal na aantasting meer onaangetast hout 'overhebben' dan een dunnere paal en zal daarom zijn sterkte langer kunnen behouden. De belastingen die op funderingspalen terechtkomen, kunnen veranderen door bijvoorbeeld aanpassingen aan het gebouw of veranderingen in de ondergrond (Van Etten et al. 2000).



5.2 Optrekkend vocht

Optrekkend vocht is, samen met de aantasting van houten funderingspalen, een veelvoorkomend probleem bij gebouwen in het oud stedelijk gebied. Dit heeft met name te maken met de toepassing van metselwerk in funderingsconstructies bij oude gebouwen. Bij gebouwen waar betonconstructies zijn toegepast doen zich nauwelijks problemen voor. De lekken in de aansluitingen en sparingen bij betonnen vloerconstructies konden eenvoudig afgedicht worden met bijvoorbeeld PUR-schuim of kit (dS+V, 2006).

Het proces van optrekkend vocht bij gemetselde funderingsconstructies kan op twee manieren plaatsvinden. De eerste manier is door middel van het proces van capillaire opstijging van grondvocht. De tweede manier is door middel van het proces van opstijging van condensvocht dat tegen de funderingsmuur aanslaat als gevolg van een hoge relatieve vochtigheid in de kruipruimte. Dit blijkt uit gegevens die zijn verkregen door middel van een tweetal interviews. Hoe beide processen problemen kunnen veroorzaken zal in deze paragraaf worden beschreven.

De in deze paragraaf beschreven informatie is voornamelijk verkregen via interviews bij TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) en de Dienst Stedenbouw en Volkshuisvesting (dS+V) van de gemeente Rotterdam. Dit heeft te maken met de geringe hoeveelheid informatie die in de literatuur over dit onderwerp te vinden is. In gevallen waarbij hetzij afwijkende bronnen zijn gebruikt, hetzij informatie is gebruikt die specifiek van een van beide bronnen afkomstig is, zal dit in de tekst worden vermeld.

5.2.1 Capillaire opstijging grondvocht

Het proces van capillaire opstijging kan plaatsvinden in poreuze materialen. De meeste poreuze materialen bevatten poriën die met elkaar in verbinding staan. Via deze verbindingen kan water door een materiaal getransporteerd worden (Tammes en Vos, 1980). Baksteen is een poreus materiaal. Water wat zich in de poriën van een poreus materiaal bevindt kan zich verplaatsen in de richting van de grote poriën naar de kleine poriën. In het gedeelte van de baksteen waar een hoog vochtgehalte is, zullen zowel grote als kleine poriën gevuld zijn met water. In het gedeelte van de baksteen waar het vochtgehalte laag is zijn alleen kleine poriën met water gevuld. Wanneer een baksteen met de onderkant in het water wordt gelegd, zal het water zich verplaatsen van de grote, met water gevulde poriën aan de onderkant van de steen naar de kleinere poriën hoger in de steen (Tammes en Vos, 1980). De verplaatsing ontstaat als gevolg van 'capillaire krachten'. Capillaire krachten komen tot stand door een wisselwerking tussen de wanden van de poriën en het water (Tammes en Vos, 1980). De capillaire krachten ontstaan uit cohesiekrachten tussen de watermoleculen onderling en adhesiekrachten tussen de watermoleculen en de wand van de porie (Van Dorsser, 1987). Capillaire krachten kunnen ervoor zorgen dat water via de poriën in de bakstenen wordt opgezogen. Het voert in het kader van dit onderzoek te ver om op deze krachten verder in te gaan. Bij dit onderzoek zijn de omstandigheden waaronder capillaire opstijging optreedt juist van belang.

5.2.1.1 Basisprincipe capillaire opstijging

Een korte beschrijving van het basisprincipe van capillaire opstijging is bij dit onderzoek echter wel op zijn plaats. Het basisprincipe van capillaire opstijging wordt door Tammes en Vos als volgt omschreven en geïllustreerd.

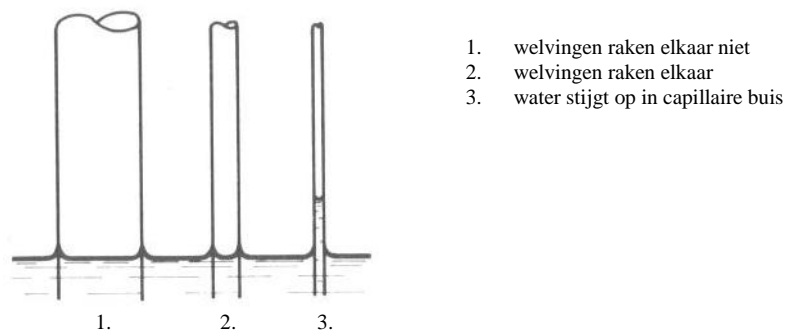
Water wat zich in een porie bevindt, staat niet met de waterspiegel loodrecht op de wand van het capillair of de porie. In het geval van de meeste bouwmaterialen wordt het water ter plaatse van de wanden en beetje omhooggezogen.

Dit gebeurt door capillaire krachten. In de onderstaande figuur is een porie voorgesteld als een buis.



In de eerste buis is goed te zien dat het water aan de wanden wordt opgetrokken. Tammes en Vos spreken in dit geval van een 'welving' die aan beide zijden van de buis ontstaat.

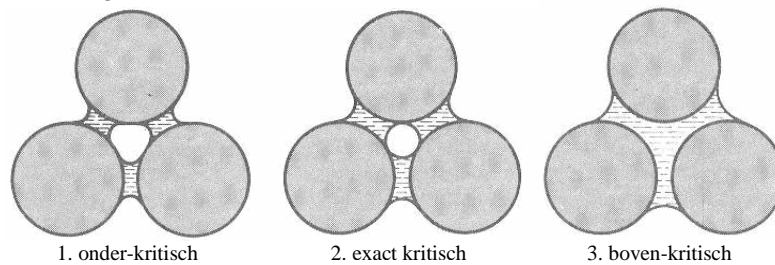
Wanneer de diameter van de buis wordt verkleind, zullen bij een bepaalde diameter de snijpunten van de welvingen met de waterspiegel zo dicht bij elkaar komen dat ze elkaar gaan raken. Dit gebeurt bij de tweede buis. Er ontstaat een soort 'kuiltje'. Als de diameter van de buis nog verder wordt verkleind, ontstaat een zogenaamd 'capillair'. Dezelfde krachten die de welvingen teweeg brengen zorgen ervoor dat het water omhooggezogen wordt. Dit gebeurt in de derde buis.



Figuur 4 Basisprincipe capillaire opstijging (Tammes en Vos, 1980)

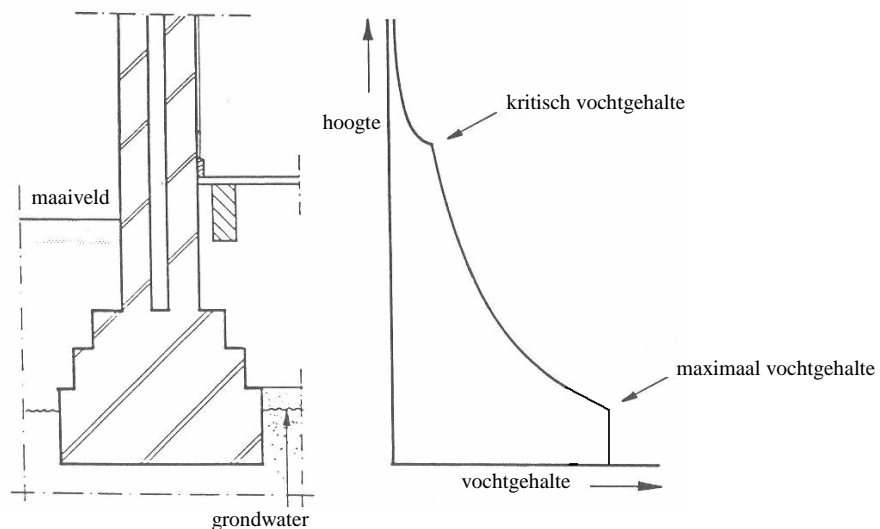
5.2.1.2 Omstandigheden optrekkend grondvocht

Het proces van capillaire opstijging van grondvocht is afhankelijk van verschillende factoren. Er moet in ieder geval voldoende vocht aanwezig zijn om het proces van capillaire opstijging in gang te zetten. Deze hoeveelheid vocht is aanwezig als het metselwerk met zijn 'voet' in het water staat (Tammes en Vos, 1980). Om het proces van capillaire opstijging in bakstenen tot stand te brengen is een zogenaamd kritisch vochtgehalte in de steen noodzakelijk. Om dit kritisch vochtgehalte te kunnen bereiken is een maximaal watergehalte nodig aan het opzuigoppervlak. Dit maximale watergehalte treedt op bij een relatieve vochtigheid van 100 procent; wanneer het metselwerk in contact staat met het grondwater. Tammes en Vos (1980) leggen dit als volgt uit. Het noodzakelijke kritische vochtgehalte wil zeggen dat de met water gevulde poriën in de baksteen elkaar raken. Boven dit kritisch vochtgehalte staan de met water gevulde poriën met elkaar in verbinding. Als de met water gevulde poriën met elkaar in verbinding staan, kan het vocht zich via de poriën verplaatsen. Als het vochtgehalte lager wordt dan het kritisch vochtgehalte, dan is er minder vocht in de baksteen aanwezig waardoor er geen contact meer is tussen de met water gevulde poriën. In dat geval kan er geen vochttransport plaatsvinden via de poriën. Het hierboven beschreven proces kan aan de hand van de onderstaande figuur worden geïllustreerd.



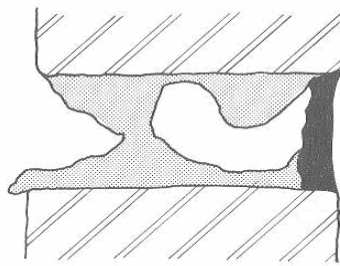
Figuur 5 Het kritisch vochtgehalte (Tammes en Vos, 1980)

Wanneer het metselwerk van een fundering in contact komt met de grondwaterpiegel, dan zal het metselwerk het water gaan opzuigen. De theoretische stijghoogte bedraagt volgens Tammes en Vos (1980) niet meer dan enkele meters. De volgende figuur geeft de relatie tussen het vochtgehalte en de stijghoogte schematisch weer.



Figuur 6 Schematische weergave vochtgehalte in metselwerk bij optrekkend vocht (Van Dorsser (1987) en Tammes en Vos (1980))

Bij dit gegeven is echter geen rekening gehouden met de voegen die als barrière dienen tegen het opzuigen van vocht door de bakstenen, zo geven Tammes en Vos aan. De volgende afbeelding geeft de oorzaak hiervan duidelijk weer.



Figuur 7 Voorbeeld niet 'vol en zat' gemetselde muur (Tammes en Vos, 1980).

Het metselen van een bakstenen muur zou in vaktermen 'vol en zat' moeten gebeuren. Dit betekent dat alle horizontale en verticale voegen vol moeten zitten met specie. In de praktijk blijkt dit vaak niet zo te zijn. De voegen vertonen vaak gaten. Door de gaten stagneert de capillaire opstijging, welke plaatsvindt in de richting van de grote naar de kleine capillairen (poriën). De gaten vormen als het ware grote poriën, waardoor het water van de kleine poriën in de baksteen naar de grote poriën in de voegen zou moeten stromen. Dit is niet mogelijk. Volgens TNO (2006) zuigen voegen over het algemeen het vocht harder op dan bakstenen. Als het vocht niet meer via de stenen opgezogen wordt, kan dit via de voegen nog wel gebeuren. Het is zeer waarschijnlijk dat dit echter nooit tot grote hoogten zal komen, gezien de gaten die zich in de voegen bevinden.

Zoals zouten zich af kunnen zetten in stuclagen, zo kunnen zouten zich ook afzetten in (de gaten van) de voegen. Deze zouten zouden ervoor kunnen zorgen dat het vocht in de voegen harden en wellicht hoger optrekt (Tammes en Vos, 1980).

5.2.1.3 Stijghoogte

Het proces van capillaire opstijging in een gemetselde funderingsmuur bereikt geen grote hoogten. Uit verschillende bronnen blijkt dat vocht via dit proces in de praktijk niet hoger stijgt dan enkele stenen. Uit experimenten die zijn beschreven door Tammes en Vos (1980) blijkt dat bij een aantal op elkaar gemetselde stenen het water in de eerste horizontale voeg doordrong, maar dat de voeg een te grote barrière was om het water tot de tweede steen door te laten dringen. Na ongeveer een half uur kwam het water tot aan de tweede steen. Hierna nam de constructie nauwelijks meer vocht op, en na ongeveer 300 uur kwam het proces zelfs tot stilstand. In een experiment waarbij zouten werden gebruikt bleek dat na ongeveer 60 uur het water wel de tweede steen was binnengedrongen.

Verder moet nog worden opgemerkt dat bij funderingsmetselwerk vaak een hardere steen werd toegepast. Dit stuk metselwerk wat werd uitgevoerd in een hardere steen wordt ook wel 'trasraam' genoemd. Deze hardere steen maakt het toch al moeizaam verlopende proces van capillaire opstijging in metselwerk nog lastiger.

De aanlegdiepte van een gemiddelde funderingsmuur is al snel op ongeveer 60 tot 100 centimeter onder het maaiveld gelegen. De aanlegdiepte is de afstand tussen de onderkant van de fundering tot aan het maaiveld. Maatgevend voor de aanlegdiepte is veelal de vorstgrens, die op ongeveer 50 tot 60 centimeter beneden maaiveld ligt. De vloer ligt ten opzichte van het maaiveld ongeveer 15 tot 20 centimeter hoger (SBR, 1986). Voordat optrekkend vocht visuele schade veroorzaakt (dus boven de vloer uitkomt), moet er dus ongeveer 80 tot 120 centimeter worden overbrugd.

Met een gemiddelde dikte van een baksteen van vijf centimeter plus een voeg van ruim een centimeter moeten er ongeveer 13 tot 19 stenen overbrugd worden.

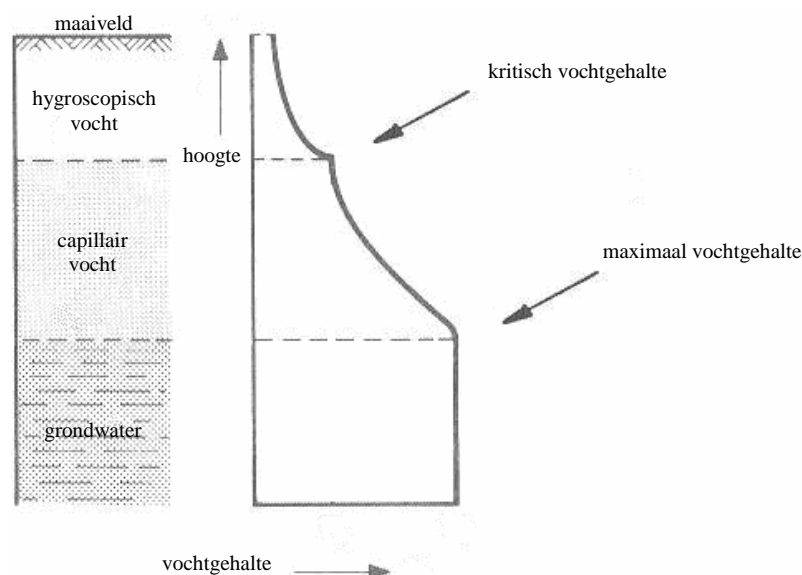


In de praktijk zal deze afstand niet gauw overbrugd worden. De zouten die achterblijven in de voegen zouden nog een mogelijkheid kunnen bieden om het vocht wel tot grotere hoogte te laten opstijgen. Hierover is echter weinig bekend.

5.2.2 Optrekkend condensvocht

Het proces van optrekkend condensvocht in een gemetselde funderingsmuur ontstaat wanneer condens tegen de funderingsmuur aanslaat en via capillaire opstijging door de muur opgetrokken wordt. Het ontstaan van condens op de funderingsmuur ontstaat als gevolg van een toename van de vochtigheid in de kruipruimte en het temperatuurverschil tussen de funderingsmuur en de kruipruimte. Een stijging van het vochtgehalte in de kruipruimte kan het gevolg zijn van een stijging van de grondwaterstand. Deze stijging hoeft niet zo groot te zijn dat de grondwaterspiegel de bodem van de kruipruimte raakt. Als gevolg van capillaire opstijging bevindt zich namelijk in de grond boven de grondwaterspiegel vocht. Dit vocht kan verdampen aan het bodemoppervlak van de kruipruimte. Hierdoor stijgt het vochtgehalte in de kruipruimte.

Het vochtgehalte in de bodem kan op vergelijkbare wijze worden weergegeven als het vochtgehalte in een funderingsconstructie.



Figuur 8 Schematische weergave vochtgehalte in metselwerk bij optrekkend vocht (Tammes en Vos, 1980)

5.2.2.1 Omstandigheden optrekkend condensvocht

Wanneer de bodem van de kruipruimte ongeveer twee tot vier massaprocent water bevat, kan dit leiden tot een vochtgehalte in de kruipruimte van ongeveer 97 procent (TNO, 2006). Bij dit vochtgehalte kan al condens optreden wanneer de temperatuur ter plaatse van de funderingsmuur ongeveer één graad lager is dan de temperatuur in het midden van de kruipruimte.

Bij een zandachtige bodem met een grove structuur bedraagt de capillaire opstijging van water ongeveer 30 centimeter. Bij een zandachtige bodem met een fijne structuur bedraagt de capillaire opstijging ongeveer 80 centimeter (Van Etten et al. 2000). Twee tot vier massaprocent water komt in een dergelijke bodem voor bovenin de laag met het capillaire water. Bij klei- en veenbodems is de structuur van de bodem fijner dan bij zandbodems.

Hier zal de capillaire stijghoogte dan ook hoger zijn (Van Etten et al. 2000). Bij veen ligt de capillaire stijghoogte op ongeveer 82 centimeter. Bij klei ligt dit getal op ongeveer 85 centimeter (Cultuurtechnische vereniging, 1988).

Bij deze getallen moet worden opgemerkt dat er verschillende soorten zand, veen en kleisoorten zijn. Binnen deze soorten kunnen de getallen sterk variëren, zo is op te maken uit verschillende tabellen in het Cultuurtechnisch vademecum¹.

In het hieronder geplaatste kader kan het verband tussen de temperatuur en het vochtgehalte in de kruipruimte worden toegelicht aan de hand van een eenvoudig rekenvoorbeeld (dS+V, 2006).

De gemiddelde temperatuur in het midden van de kruipruimte is ongeveer 14°C (in geval van een ongeïsoleerde beganegrondvloer en indien de ruimte erboven wordt verwarmd) (dS+V, 2006).

De maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht kan bevatten is afhankelijk van de temperatuur. Deze hoeveelheid kan uitgedrukt worden door middel van de dampspanning.

De maximale dampspanning bij een temperatuur van 14°C bedraagt 1599 Pascal (Van Dorsser, 1987).

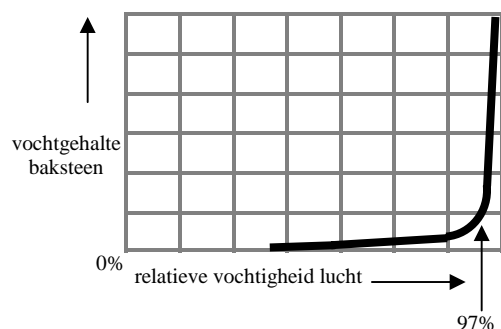
De aanwezige dampspanning is in geval van een vochtigheidsgehalte van 95% gelijk aan 95% van 1599 Pascal. Dit is 1519 Pascal.

Uitgaande van een relatieve vochtigheid van 100% (maximale dampspanning) is de bij 1519 Pa horende temperatuur circa 13,2°C (dauwpunttemperatuur).

Dit wil zeggen dat wanneer de temperatuur van de funderingsmuur beneden deze 13,2°C komt, er condensatie optreedt ter plaatse van de funderingsmuur.

De temperatuur van de kruipruimtemuur ligt over het algemeen rond 11 graden (dS+V, 2006). Dit betekent dat er in geval van een dergelijke luchtvochtigheid er condens tegen de funderingsmuur aanslaat.

Condens kan via capillaire opstijging in de muur worden opgezogen. Dit kan verklaard worden aan de hand van de volgende figuur.



Figuur 9 Vochtgehalte in baksteen als functie van de relatieve luchtvochtigheid (Tammes en Vos, 1980).

¹ De kritieke z-afstand (z_k) is aangehouden als zijnde maatgevend voor de capillaire stijghoogte waarbij de grond ongeveer twee tot vier massaprocent water bevat (bovenin de laag met capillair vocht). Deze afstand wordt ook wel de kritieke stijgafstand genoemd (Cultuurtechnische vereniging, 1988). Deze afstand geeft aan wanneer er nog voldoende capillair water in de grond aanwezig is om verdroging van gewassen te voorkomen, aldus de Cultuurtechnische vereniging. In het Cultuurtechnisch vademecum wordt aangegeven dat de kritieke z-afstand vaak gebaseerd is op het verwelkingspunt (bij planten). Het waterpercentage in de grond bij het verwelkingspunt benaderd bij de meeste gronden de genoemde twee tot vier procent (Cultuurtechnische vereniging, 1988).

Een materiaal wat zich in een ruimte bevindt met een bepaalde vochtigheid, bevat een bepaalde hoeveelheid vocht. Deze hoeveelheid vocht is gering en is afhankelijk van de vochtigheid van de lucht (Tammes en Vos, 1980). Dit vochtgehalte wordt het evenwichtsvochtgehalte genoemd. Het evenwichtsvochtgehalte van een baksteen blijkt bij een stijging van de luchtvochtigheid maar geleidelijk toe te nemen (Tammes en Vos, 1980). Als de luchtvochtigheid echter boven ongeveer vijftien procent komt, neemt het vochtgehalte in snel tempo toe. Hierbij wordt het kritisch vochtgehalte waarboven capillaire opstijging optreedt niet bereikt. Het hygroscopisch vochtgehalte wordt wel bereikt (dS+V, 2006). Dit is het vochtgehalte waarbij alle poriën met een straal kleiner dan ongeveer $50 \cdot 10^{-3}$ micrometer gevuld zijn met water (Tammes en Vos, 1980). Tammes en Vos merken hierbij op dat dit getal geen fysische onderbouwing kent. Dit watergehalte is onvoldoende om het proces van capillaire opstijging in gang te zetten.

5.2.2.2 Stijghoogte

Bij het vochtgehalte waarbij condens op de funderingsmuur kan ontstaan, rond de zevenennegentig procent, is het vochtgehalte in de baksteen ongeveer hygroscopisch. Wanneer het condensvocht de bakstenen intrekt, kan dit letterlijk de druppel zijn die het capillaire opstijgingsproces in gang zet (dS+V, 2006). Omdat de condens op de muur niet hetzelfde is als een waterspiegel zoals bij capillaire opstijging van onderaf, is dit proces minder krachtig. Dit betekent dat geen grote stijghoogten worden bereikt (dS+V, 2006). De stijghoogte bedraagt in dit geval ongeveer 10 tot 20 centimeter. Dit is genoeg om het vocht tot ongeveer één tot twee stenen boven de plinten in de woning uit te laten komen (dS+V, 2006). Dat gemetselde funderingsmuren gevoelig zijn voor het opzuigen van de condens heeft onder andere te maken met het feit dat het hier 'vuil' metselwerk betreft. Vuil metselwerk is metselwerk waarbij de voegen niet zijn uitgekrabd en gevoegd. Dit deed men niet bij funderingsmetselwerk omdat dit niet in het zicht komt. Voegwerk fungeert als een barrière voor het opzuigen van vocht in metselwerk.

5.2.3 De omstandigheden in de praktijk

De aanpak van optrekkend vocht is in veel gevallen lastig te initiëren vanuit het grondwater. Dit geldt zeker voor de gebieden waar gemetselde funderingsconstructies zijn aangebracht op houten palen of waarbij houten paalfunderingen in de nabijheid voorkomen. Hier kan een verlaging van de grondwaterstand leiden tot het droogvallen van houten paalkoppen. Houten paalkoppen kunnen bij droogstand aangetast worden.

5.2.4 Oplossingsrichtingen

In de eerste plaats zou een logische oplossing voor optrekkend vocht het verlagen van de grondwaterstand kunnen zijn. De situatie die zich dan voor zou kunnen doen is als volgt te beschrijven.

De aanlegdiepte van de kruipruimtebodembedraagt gemiddeld ongeveer vijftig centimeter beneden maaiveld (TNO, 2006). De gemiddelde aanlegdiepte van een funderingsmuur bedraagt ongeveer 60 tot 100 centimeter beneden maaiveld. De vorstgrens is echter in de meeste gevallen maatgevend voor de aanlegdiepte van de funderingsmuur. Deze ligt zoals eerder aangegeven op 50 tot 60 centimeter beneden maaiveld. Hiervan uitgaande, is er dus vaak maar een speling van ongeveer tien centimeter van de kruipruimtebodembodem tot aan de bovenkant van de paalkoppen. Een woning waarbij het water tot aan de kruipruimtebodembodem staat en waarbij de grondwaterstand meer dan tien centimeter verlaagd zou worden, zou problemen kunnen krijgen met droogvallend paalkoppen.

Het proces van capillaire opstijging in hout is namelijk niet in staat om boven de grondwaterspiegel een vochtgehalte te handhaven waarbij schimmelaantasting niet optreedt (Van Etten et al. 2000).



De grondwaterstand hoeft, zoals eerder gezegd, niet tot aan de kruipruimtebodemplaat te staan om te zorgen voor problemen. Een grondwaterstand van 30 tot 85 centimeter onder de kruipruimtebodemplaat kan al problemen opleveren, afhankelijk van de bodemsoort.

In de praktijk komt het oplossen van optrekkend vocht vaak neer op het nemen van maatregelen aan het pand zelf.

In de tweede plaats kan de funderingsmuur geïnjecteerd worden met een chemische hars. De hars zorgt in dit geval voor een vochtblokkade in het metselwerk.

In de derde plaats kan een laag saneringsstucwerk worden aangebracht. Saneringsstucwerk is een dikke laag stucwerk dat de zouten kan bergen die via het optrekkend vocht meekomen (dS+V, 2006). Een ophoping van zouten in normaal stucwerk kan het vocht aantrekken waardoor vochtdoorslag door de muur kan plaatsvinden. De dikke laag saneringsstuc kan zouten bergen waardoor minder snel doorslag plaatsvindt. Het duurt ongeveer tien jaar voordat de saneringsstuc laag verzadigd is met zouten. Daarna kan in principe weer vochtdoorslag optreden. Muren van kerken werden vaak van een nieuwe stuc laag voorzien wanneer er vochtdoorslag plaatsvond. Deze lagen werden over de oude laag heen aangebracht. Zodoende ontstond er een dikke laag stucwerk die als het ware als berging diende voor de zouten (TNO, 2006). Een soort saneringsstuc laag dus.

In de vierde plaats kan de bodem van de kruipruimte worden afgedekt met een dampdichte folie. Deze folie werkt als een barrière tussen de vochtige kruipruimtebodemplaat en de kruipruimte. De vochtigheid van de kruipruimte wordt hierdoor beperkt. Maatregelen als het aanbrengen van schuimbeton, schelpen, grind of grof zand kan de verdamping van vocht vanuit de kruipruimtebodemplaat naar de kruipruimte eveneens stoppen of remmen. Bijsterveld (2004) noemt hierbij nog dat geëxpandeerde kleikorrels en geëxpandeerde polystyreenkorrels voor hetzelfde doel gebruikt kunnen worden. De isolerende werking van deze materialen brengen het verdampingsproces tot stilstand. Bijsterveld noemt als bijkomend voordeel van schelpen, dat bij de hoge pH-waarde van de schelpen de schimmels niet goed zullen gedijen.

In de vijfde plaats wordt in de volksmond een betere ventilatie van de kruipruimte vaak als oplossing genoemd. Het oplossen van het vochtprobleem door de kruipruimte beter te ventileren is echter niet afdoende, aldus TNO. Het ventileren van de kruipruimte heeft maar een zeer beperkt effect op het vochtgehalte in de kruipruimte. Ventileren is echter wel goed tegen de vestiging van sporen van schimmels op houten vloeronderdelen. Deze gedijen slecht bij een hoge mate van ventilatie. Het afdichten of afdekken van de kruipruimte is verreweg de beste oplossing. Hierbij dient een afstand van tien centimeter tot het grondwater te worden aangehouden (TNO, 2006).

Bij het probleem van een natte kruipruimte moet opgemerkt worden dat zonder bodembedekking een vochtige kruipruimte eigenlijk nooit droog wordt. Wanneer een kruipruimte eenmalig nat wordt dan heeft deze ongeveer twee tot vijf jaar nodig om geheel droog te worden. De kans dat de grondwaterstand in die periode weer een keer stijgt tot dezelfde hoogte, bijvoorbeeld als gevolg van een stortbui, is zeker aanwezig. Een andere beperking die met een kruipruimte samenhangt, is het zogenaamde 'badkuipeffect'. Dit wil zeggen dat het water net als in een badkuip in de kruipruimte kan blijven staan. Hierdoor kan de kruipruimte langdurig vochtig blijven (TNO, 2006).



5.2.5 De snelheid van optrekkend condensvocht

De snelheid waarmee het proces van optrekkend vocht verloopt is slechts met een grove indicatie aan te geven. Vanwege de zeer geringe stijghoogte bij het proces van capillaire opstijging vanaf de grondwaterspiegel van onderaf wordt de snelheid van dit proces buiten beschouwing gelaten. Het proces van optrekkend condensvocht is vanwege de stijghoogte van groter belang. Hierbij kan het vocht boven de beganegrondvloer uittreden. Zoals gezegd kan een kruipruimte door een eenmalige wisseling van de grondwaterstand twee tot vijf jaar vochtig zijn. In een vochtige kruipruimte waarbij de verhouding tussen temperatuur en vochtigheid dusdanig is dat er condens ontstaat, kan zeer globaal gezegd binnen een half jaar het vocht 10 tot 20 centimeter opstijgen (TNO, 2006).

5.3 Overige effecten

Er zijn een aantal overige effecten te noemen die het gevolg kunnen zijn van een verhoogde grondwaterstand. Ook deze effecten hebben betrekking op de bebouwing in het oud stedelijk gebied.

5.3.1 Aantasting houten vloeren

Een probleem wat nog nauwelijks aan de orde is geweest is het proces van aantasting van houten vloeren door schimmels. Schimmelaantasting van vochtig hout in combinatie met zuurstof is een bekend verschijnsel bij houten paalfunderingen. Houten vloeren kunnen ook ten prooi vallen aan deze schimmels (dS+V, 2006). Bij een (langdurig) vochtpercentage van de lucht in de kruipruimte van 80 tot 85 procent kan een houten vloer na twee tot vijf jaar zo ernstig zijn aangetast dat vervanging noodzakelijk is (dS+V, 2006).

5.3.2 Gezondheidsrisico's

Een ander probleem wat zich voor kan doen bij houten vloeren is het gezondheidsrisico dat een te hoge vochtigheid in het pand met zich mee kan brengen. Houten vloeren die damp-open zijn kunnen vocht vanuit de kruipruimte de woning inbrengen. Hierdoor kan een vochtig binnenklimaat ontstaan (dS+V, 2006). Een vochtig binnenklimaat kan de gezondheid schade toebrengen. Klachten als problemen met de luchtwegen, vermoeidheid en gewrichtspijn kunnen hier een gevolg van zijn (SBR, 1986).

Het besef van het duurzaam omgaan met natuurlijke bronnen is de afgelopen jaren sterk toegenomen. Dit heeft ook voor de bebouwing consequenties gehad. Het besparen van energie heeft daarbij veel aandacht gekregen. Een van de vormen om energie te besparen in gebouwen is het zorgdragen voor een goede isolatie van het gebouw. Het verbeteren van de isolatie van gebouwen heeft dan ook de afgelopen jaren een enorme toevlucht genomen (Bijsterveld, 2004). Een verbetering van de isolatie van een gebouw gaat ten koste van de ventilatie in een gebouw. Ventilatie is een belangrijk middel om vocht uit gebouwen te laten ontsnappen, aldus Bijsterveld (2004). Het beperken van de ventilatie in combinatie met een damp-open beganegrondvloer en een vochtige kruipruimte kan het vochtgehalte in de leefruimte sterk doen stijgen.



Het gezondheidsprobleem als gevolg van een te hoog vochtgehalte wordt nog vaak onderschat (dS+V, 2006). Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat men in de meeste gevallen afgaat op problemen die visueel van aard zijn, zoals vochtplekken op de muren. Wanneer er visueel niets waarneembaar is wil dit echter nog niet zeggen dat er daadwerkelijk geen problemen zijn. Gezondheidsproblemen kunnen zich voordoen zonder dat daar een zichtbare aanleiding voor is.

5.4 Conclusies

Aantasting houten paalfunderingen

De in Nederland veelvuldig toegepaste houten paalfunderingen kunnen bij droogstand aangetast worden door verschillende soorten schimmels. De aanwezigheid van zuurstof is cruciaal voor de schimmelaantasting. Het minimale vochtgehalte waarbij de meeste schimmels voorkomen bevindt zich rond het vezelverzadigingspunt.

De schimmelsoort die het meeste voorkomt bij houten funderingspalen is de softrotschimmel. Deze schimmelsoort heeft veel minder zuurstof nodig.

Behalve het zuurstofgehalte en het vochtgehalte zijn er nog andere factoren die bepalend zijn voor de mate van aantasting. De doorlatendheid van het hout, het stikstofgehalte en de zuurgraad in het hout kunnen het aantastingsproces beïnvloeden. Dit geldt ook voor de grondsoort. Een grondsoort die het water na een grondwaterdaling langer vasthoudt kan het drogingproces van het funderingshout belemmeren.

De mate van aantasting kan ontleend worden aan de cumulatieve droogstandtijd. Deze moet minimaal tien tot twintig jaar bedragen. Een eenmalige droogstandtijd van enkele maanden of een kortdurende wisseling van de grondwaterstand (dagelijks of enkele weken) zal niet tot schimmelaantasting leiden.

Houten paalfunderingen die zich onder het grondwaterpeil bevinden kunnen aangetast worden door bacteriën die het hout in een omgeving met een zeer laag zuurstofgehalte kunnen aantasten. Belangrijk hierbij is op te merken, dat onder omstandigheden zonder zuurstof nog nooit aantasting is aangetoond. Zuurstof is noodzakelijk voor het afbreken van de stof lignine. Deze afbraak is essentieel in het aantastingsproces.

In het hout kunnen primaire en secundaire houtaantastende bacteriën en houtkoloniserende bacteriën voorkomen. De laatste groep tast het hout niet aan. Van de primaire houtaantastende bacterie zijn de tunnelvormende en de erosie bacterie de meest voorkomende soorten. De erosie bacterie komt het meeste voor in houten funderingspalen, waarschijnlijk omdat deze bacterie in een milieu met zeer lage zuurstofconcentraties actief kan zijn.

Over de manier waarop het aantastingsproces in de praktijk verloopt en beïnvloed wordt, kunnen slechts een aantal veronderstellingen worden gedaan. Aangenomen wordt dat de aanwezigheid van zuurstof een vereiste is. In zandachtige bodems zou deze zuurstof uit de bodem gehaald kunnen worden, in zuurstofloze veenachtige bodems zou de zuurstof hetzij uit de paal gehaald moeten worden hetzij via de paal aangevoerd moeten worden. Verder zouden lekkende rioleringen bacteriën, voedingsstoffen voor bacteriën en stoffen die als alternatieve energiebron voor zuurstof gebruikt zouden kunnen worden aan kunnen voeren. Tevens zou de temperatuur van het weggelekte rioolwater het aantastingsproces gunstig kunnen beïnvloeden. De verbranding van organische stoffen in het weggelekte rioolwater, zou de aanwezige zuurstofconcentratie kunnen verlagen en daarmee zou het aantastingsproces afgeremd kunnen worden.



Van de snelheid van het aantastingsproces is slechts globaal een indicatie te geven. Locatiespecifieke factoren spelen namelijk een belangrijke rol bij de snelheid van aantasting. Grenen palen kunnen na ongeveer 90 jaar maximaal zijn aangetaast. De bovenkant van een funderingspaal kan al na zestig jaar vrijwel geheel zijn aangetast. Na 30 jaar kan al forse schade zijn opgetreden, ongeacht de houtsoort. Wel moet worden opgemerkt dat vuren funderingspalen na negentig jaar nog geen gevaar lopen.

Optrekkend vocht

Optrekkend vocht in gemetselde funderingsconstructies kan op twee manieren plaatsvinden. De eerste manier is via capillaire opstijging vanaf de onderkant van de fundering. Een voorwaarde voor het in gang zetten van capillaire opstijging van grondwater is, dat er voldoende vocht aanwezig is aan de voet van de fundering. Hier moet het vochtgehalte van de baksteen maximaal zijn. Dit is het geval wanneer de fundering met zijn 'voet' in het grondwater staat.

In theorie kan het grondwater op deze manier enkele meters opstijgen. De voegen die zich tussen de stenen bevinden werken echter als een barrière voor het vochttransport. De voegen beperken de stijghoogte van het vocht tot enkele stenen. In de voegen kunnen achtergebleven zouten er wel voor zorgen dat het vocht zich via de voegen makkelijker een weg omhoog baant. De 'gaten' in de voegen beperken waarschijnlijk ook de stijghoogte van dit proces.

Om het vocht boven de plinten in de woning uit te laten komen moeten ongeveer dertien tot negentien stenen overbrugd worden. Deze overbrugging zou te groot zijn voor het capillaire opstijgingsproces van grondvocht.

De tweede manier waarop vocht in gemetselde funderingsmuren kan optrekken is via de binnenkant van de funderingsmuur. Daar kan condens ontstaan als gevolg van een toename van de luchtvochtigheid in de kruipruimte en een verschil in temperatuur tussen de funderingsmuur en de kruipruimte. Bij een vochtgehalte van 97 procent kan een temperatuurverschil tussen de funderingsmuur en de kruipruimte van één graad al leiden tot condens.

Dit vochtgehalte kan optreden wanneer de kruipruimtebodembodem ongeveer twee tot vier massaprocent water bevat. Bij zandachtige bodems kan dit watergehalte bereikt worden bij een grondwaterstand van ongeveer 30 tot 85 centimeter onder de kruipruimtebodembodem. Afhankelijk van de structuur van de bodem kan de grondwaterstanddiepte waarbij de kruipruimtebodembodem ongeveer twee tot vier massaprocent water bevat sterk variëren.

Het condensvocht kan vervolgens de bakstenen intrekken waardoor het proces van capillaire opstijging in gang wordt gezet. De stijghoogte bedraagt niet meer dan ongeveer 10 tot 20 centimeter.

De aanpak van optrekkend vocht vanuit het grondwater kan gevolgen hebben voor omliggende bebouwing. Oplossingen zullen in de meeste gevallen vooral het pand zelf betreffen. Het injecteren van de funderingsmuur, het aanbrengen van saneringsstucwerk en het afdekken van de kruipruimte zijn de meest voorkomende maatregelen. Het beter ventileren van de kruipruimte lijkt niet afdoende te zijn.

Over de snelheid van het proces kan slechts in grote lijnen iets gezegd worden. Als een kruipruimte eenmaal nat is, duurt het ongeveer twee tot vijf jaar voordat deze weer droog is. In deze periode is de vochtigheid in de kruipruimte dusdanig hoog dat condensvorming kan optreden. De snelheid waarmee het condensvocht opstijgt ligt ongeveer rond de tien tot twintig centimeter in een half jaar.



Overige effecten

Houten vloeren kunnen eveneens aangetast worden door schimmels. Houten vloeren kunnen na twee tot vijf jaar ernstig zijn aangetast door schimmels.

De gezondheidsrisico's van vocht dat optrekt en de leefruimten binnentreedt zijn aanzienlijk groter dan vaak wordt gedacht. In dit hoofdstuk zijn met name de visuele gevolgen van optrekkend vocht aan de orde geweest. Dit wil niet zegen dat non-visuele gevolgen als gezondheidsproblemen hieraan ondergeschikt zijn. Integendeel. Zij vormen wellicht de belangrijkste problemen die voortkomen uit optrekkend vocht.



6 Economische gevolgen

6.1 Vastgoedwaarde-analyse

In deze paragraaf staat de relatie tussen de grondwaterproblematiek en de vastgoedwaarde centraal. Het uitgangspunt voor dit hoofdstuk is de stad Dordrecht. Deze stad stond model voor het bepalen van de effecten op de vastgoedwaarde. De gegevens omtrent de waardedaling van het vastgoed zijn verkregen uit een interview met taxateurs van de afdeling belastingen van de gemeente Dordrecht. Bij het gebruik van afwijkende bronnen zullen deze in de tekst worden vermeld.

Daar waar het de funderingsproblematiek betreft wordt de stad Dordrecht opgedeeld in drie deelgebieden. Het eerste gedeelte beslaat de binnenstad. De panden in de binnenstad zijn op de beste ondergrond en op het hoogstgelegen gebied gebouwd, zoals eerder in dit onderzoek reeds naar voren is gekomen. Hier doen zich dan ook nauwelijks problemen voor. Daaromheen ligt het tweede deel, de zogenaamde (negentiende-eeuwse) Schil en de wijken Reeland, Krispijn, Nieuw-Krispijn en Oud-Krispijn, waarbij een groot aantal panden voornamelijk is gefundeerd op houten palen. Om de negentiende-eeuwse schil ligt vervolgens het derde deelgebied waarbij de gebouwen gefundeerd zijn op betonnen palen of op houten palen met betonnen oplangers. De objecten in het derde deelgebied hebben voornamelijk een bouwjaar na 1945. De panden die na 1945 zijn gebouwd vertonen geen of nauwelijks problemen. Bij panden van voor 1945 doen zich wel op grote schaal problemen voor.

Een anekdote die in het interview de revue passeerde betrof het verhaal dat iemand eens gezegd zou hebben dat de risicogebieden van een luchtfoto van de stad Dordrecht af te lezen zijn. De gebieden die oranje gekleurd zijn vanwege de oranje dakpannen geven het risicogebied weer. De oranje-pannen-methode bleek aardig in overeenstemming te zijn met de werkelijkheid.

Voor de taxaties wordt geen onderscheid gemaakt in het type aantasting, dat wil zeggen schimmelaantasting of bacteriële aantasting. Uit het vorige hoofdstuk bleek dat het in de risicogebieden bijna uitsluitend gaat om schimmelaantasting van houten funderingspalen.

In Dordrecht doen zich, zoals eerder genoemd, de meeste problemen voor in het tweede deelgebied.

Grondwateroverlast komt in Dordrecht eveneens voor in een aantal wijken. Dit grondwaterprobleem heeft voor zover bekend geen invloed op de waarde van het vastgoed.

6.1.1 Gevolgen vastgoedwaarde

De afdeling belastingen van een gemeente stelt de waarde vast van het onroerend goed in het kader van de Wet Waardering Onroerende Zaken (WOZ). In het kader van deze wet dient de waarde van een onroerende zaak eens in de vier jaar, en vanaf vorig jaar eens in de twee jaar te worden vastgesteld. Vanaf 2007 zal dit zelfs jaarlijks gaan gebeuren. Dit gebeurt door middel van taxaties, die uitgevoerd worden door de afdeling belastingen. De waarde die bij deze taxaties wordt vastgesteld, wordt ook wel de WOZ-waarde genoemd.



De WOZ-waarde wordt gebruikt bij de vaststelling van de belastingheffing. De onroerende zaakbelasting, de inkomstenbelasting en de waterschapsbelasting zijn gebaseerd op de WOZ-waarde (gemeente Dordrecht, 2006).

De WOZ-waarde is gebaseerd op de onbesmette waarde van het pand. Deze waarde is de waarde die het pand in de markt heeft indien er zich geen problemen voordoen. In de markt is een waarde-effect waar te nemen in de gebieden waar zich problemen voordoen met houten paalfunderingen. Dit waarde-effect wordt meegenomen bij de waardering van onroerend goed in het kader van de Wet WOZ. Voor de belastingjaren 2001 tot 2004 is de waarde van het onroerend goed voor de WOZ meegenomen die is vastgesteld met als waardepeildatum 1 januari 1999. Omdat rond 1999 nog niet de informatie over de funderingsproblematiek voorhanden was, en dit dus niet verdisconteerd was, wordt die waarde gecorrigeerd. Voor de WOZ-waarde die geldt voor de periode 2005-2006 is de waardepeildatum 1 januari 2003 het uitgangspunt. Uit de correctie die gehanteerd wordt voor de periode 2001 tot 2004 kan een waardedrukkend effect worden afgeleid. De correctiemethode is hieronder beschreven.

6.1.2 Waarderingsmethode WOZ-waarde

Bij de waardering van het onroerend goed wordt in eerste instantie gekeken of een pand zich in het risicogebied of aandachtsgebied bevindt. Het aandachtsgebied bestrijkt in Dordrecht de wijken Krispijn, Nieuw-Krispijn en Oud-Krispijn, Reeland en de Schil (ook wel bekend als de negentiende-eeuwse schil). In tweede instantie wordt gekeken of het pand gebouwd is voor 1945. Dit jaartal wordt als grens gebruikt omdat na die tijd voornamelijk gebruik is gemaakt van betonnen funderingspalen of houten funderingspalen met betonnen oplangers. Zoals eerder in dit onderzoek al is beschreven, zorgen deze bouwmethoden over het algemeen niet voor problemen.

Aandachtsgebied en bouwjaar voor 1945

Wanneer een pand zich in het aandachtsgebied bevindt en gebouwd is voor 1945 dan wordt gesproken van een waardedrukkend effect van vijf procent. Dit percentage is vastgesteld na een onderzoek naar het waardedrukkend effect van de paalfunderingsproblemen.

Herstel niet nodig binnen 25 jaar

Wanneer de fundering van een pand in het aandachtsgebied is onderzocht en hieruit blijkt dat herstel binnen vijftwintig jaar niet noodzakelijk is, dan geldt eveneens het waardeverminderingpercentage van vijf procent.

Herstel nodig binnen 25 jaar / monitoring

Het percentage van vijf procent wordt bijgesteld wanneer het pand in het risicogebied onderhevig is aan onderzoek en monitoring van de paalfundering of wanneer uit het funderingsonderzoek naar voren is gekomen dat herstel binnen nu en 25 jaar noodzakelijk is. Als de kosten voor het herstel van de fundering nog niet bekend zijn, dan wordt een extra waardedrukkend effect meegerekend van 15 procent. Hiermee komt het totale waardedrukkend effect op 20 procent. Mochten de herstelkosten uiteindelijk bekend zijn, dan wordt de waarde opnieuw vastgesteld op basis van de kosten.



Herstel nodig binnen 15 jaar

Wanneer van een pand de fundering binnen 15 jaar hersteld moet worden voor een bekend bedrag zal allereerst het waardedrukkend effect van vijf procent van de onbesmette waarde worden afgetrokken. Vervolgens zullen de herstelkosten worden afgetrokken van de waarde van het pand. Hierbij moet worden opgemerkt dat de subsidie die voor het herstel verkregen kan worden van de herstelkosten zullen worden afgetrokken.

Herstel nodig over 15 tot 25 jaar

In het laatste geval kan onderzoek uitwijzen dat een pand een funderingsprobleem heeft wat over 15 tot 25 jaar pas aangepakt dient te worden. Een onderzoek met een dergelijke nauwkeurige tijdsindicatie als uitkomst, is vaak gedetailleerd genoeg om een inschatting te kunnen maken van de kosten die nodig zijn voor het herstel. Wanneer deze situatie zich voordoet, wordt in de eerste plaats het waardedrukkend effect van vijf procent van de onbesmette waarde afgetrokken. De herstelkosten worden niet volledig van de waarde van het pand afgetrokken. Omdat de kosten zich pas over minimaal 15 jaar zullen voordoen, wordt gerekend met de zogenaamde contante waarde van de herstelkosten. Deze wordt vastgesteld op 75 procent van de herstelkosten. De subsidies zullen ook hier van de herstelkosten worden afgetrokken.

Herstel gepleegd

Wanneer van een pand het herstel gereed is gekomen, wordt hier melding van gemaakt bij de afdeling belastingen. Per 1 januari van het volgend jaar wordt de WOZ-waarde vervolgens gecorrigeerd, oftewel hergewaardeerd naar de onbesmette waarde.

In de gedragslijn voor de aanpak van het WOZ-waardevraagstuk (Gemeente Dordrecht, 2006) wordt nog vermeld dat de waarde van een pand niet verder kan dalen dan € 10.000,-. Dit is de zogenaamde restwaarde van de grond.

De WOZ-waarde van het onroerend goed welke wordt meegenomen voor de periode 2005 tot 2006 wordt niet gecorrigeerd volgens de bovenstaande methode. Omdat inmiddels uitgebreid onderzoek is gedaan in de risicogebieden en veel meer bekend is over de herstelkosten, zijn bij de waardevaststelling naar de waardepeildatum 1 januari 2003 de herstelkosten van de onbesmette waarde afgetrokken. Hierbij is ervan uitgegaan dat het waardedrukkend effect van vijf procent al in de 'onbesmette' marktwaarde is verdisconteerd. Dit vanwege de bekendheid in de markt van en met het probleem.

6.1.3 Herstelkosten

Wanneer de herstelkosten bekend zijn worden deze van de onbesmette waarde afgetrokken. De orde van grootte van deze herstelkosten ligt tussen de € 10.000,- en € 200.000,-. Bij deze kosten zijn de kosten voor het herstel van het casco inbegrepen. Dit wil zeggen dat het niet alleen om het herstel van de fundering gaat. Ook het herstel van bijvoorbeeld scheuren in de muur die ontstaan zijn door zettingen in de funderingsconstructie worden hiertoe gerekend. Het percentage van deze kosten welke het funderingsherstel betreft wordt geschat op 90 tot 95 procent. De gemiddelde kosten voor het funderingsherstel komen neer op ongeveer € 57.000,-. Dit is een gemiddelde van alle panden waarvan de herstelkosten bekend zijn, ongeacht of de panden gereed zijn gekomen.



6.1.4 De situatie in de praktijk

De bekendheid in de markt met de funderingsproblematiek is de afgelopen jaren sterk toegenomen. Deze bekendheid is van invloed op het waardedrukkend effect, zo blijkt uit gegevens binnen Ooms Makelaars te Dordrecht (2006). In de markt blijkt de bekendheid van de funderingsproblematiek een zekere onrust bij de kopers teweeg te brengen. Deze onrust vertaalt zich in een waardedrukkend effect wat tussen de 50 en 100 procent van de fictieve herstelkosten ligt.

Wanneer een pand dat in het aandachtsgebied ligt te koop staat en de funderingsherstelkosten nog niet bekend zijn, gaan kopers informeren wat de kosten voor funderingsherstel zouden kunnen zijn. Van de bedragen die dan de ronde doen, wordt dan tussen de 50 en 100 procent genomen en van de vraagprijs afgetrokken. Wanneer de herstelkosten wel bekend zijn, gelden dezelfde percentages. Echter, het bekend zijn van de herstelkosten geeft de koper meer zekerheid dan het niet bekend zijn van de herstelkosten. Deze zekerheid leidt ertoe, dat het percentage dat van de vraagprijs wordt afgetrokken dichter tegen de 50 procent ligt dan tegen de 100 procent. Bij onzekerheid ligt dit percentage dichter tegen de 100 procent van de fictieve herstelkosten. Onzekerheid over de funderingsproblemen en de herstelkosten heeft in veel gevallen tot gevolg dat ongeveer de helft van de kopers afhaakt. Als er onderzoek is gedaan naar een fundering en het herstel blijkt urgent te zijn, dan geldt hoe urgenter het herstel nodig is hoe meer er van de prijs afgaat. Verder staan de huizen in het aandachtsgebied ook langer te koop.

Niet in alle gevallen gaat er een dergelijk percentage van de vraagprijs af, zo geeft de makelaar aan. De huizen die de problemen vertonen zijn geliefde stadswoningen, gebouwd in de periode rond 1900 tot rond de jaren dertig. Er zijn voorbeelden van woningen die om die reden voor ongeveer de vraagprijs verkocht worden. Het risico of de kosten van funderingsherstel worden dan op de koop toegevoegd.

De makelaar geeft verder aan dat de funderingsproblematiek wel degelijk van invloed is (geweest) op het imago van de stad. Door de aanpak van de problemen is dit imago wel weer positief bijgesteld.

De onzekerheid over de toestand van de fundering is niet de enige factor die de verkoop van een pand in het aandachtsgebied kan beïnvloeden, zo stelt de makelaar. Wanneer een woning onderdeel is van een blok woningen, dan is het antwoord op de vraag wat de rest van het blok bereid is te doen aan de fundering cruciaal. Als de rest van het blok afziet van herstel, en de koper wil zijn fundering wel gaan herstellen, dan komt de schade door dit herstel (bijvoorbeeld ongelijke zetting) aan de rest van het blok voor rekening van degene die wel herstel heeft gepleegd. Het is dus van belang dat de neuzen van zowel de koper als van de rest van de bewoners van het blok één kant op staan. Voor één koper vormde dit geen belemmering, die zaagde zijn huis letterlijk los van zijn burens en herstelde zijn fundering. Dit door de makelaar genoemde voorbeeld vormt echter een uitzondering.



Een laatste opmerking die bij deze paragraaf moet worden geplaatst heeft betrekking op het effect van de grondwaterproblematiek op investeerders. De geruchten over investeerders die bij de keuze voor een locatie van hun vastgoed wel degelijk rekening houden met de (verwachte) ontwikkelingen van de grondwaterstand worden steeds sterker. De hogergelegen gebieden lijken de voorkeur te hebben. Investerings in de 'putten' lijken te worden gemeden. De verzekerbaarheid in combinatie met het klimaat zou hierbij een belangrijke rol spelen. Uitdrukkelijk moet hierbij worden vermeld dat het gaat om informatie die niet gebaseerd is op concrete informatie uit de literatuur of uit het werkveld van de makelaars of taxateurs. Met schriftelijke rapportages hieromtrent wordt terughoudend omgegaan. De politieke gevoeligheid van het onderwerp is hiervan de oorzaak.

6.1.5 Opschaling potentiële gevolgen vastgoedwaarde Nederland

Om een landelijk beeld te kunnen krijgen van de mogelijke gevolgen van grondwateronderlast voor de vastgoedwaarde is een opschaling gemaakt naar de landelijke situatie. Hiervoor is het noodzakelijk om de aantallen woningen met grondwateronderlast in Nederland te weten. Deze aantallen staan vermeld in het rapport geschreven door KPMG/Grontmij (2001). In de tabel hieronder zijn deze aantallen opgenomen voor zowel grondwateronderlast als grondwateroverlast.

Tabel 4 Aantal gevallen grondwateroverlast / grondwateronderlast

soort problematiek	aantal woningen in Nederland
grondwateroverlast	+/- 150.000
grondwateronderlast	+/- 140.000

(Bron: KPMG/Grontmij, 2001)

Als hier de cijfers van de aantallen woningen die in Nederland voor 1945 zijn gebouwd naast worden gelegd, blijkt dat het om een aanzienlijk deel van het woningenbestand gaat.

Het aantal woningen dat voor 1945 is gebouwd ligt namelijk op 1.430.000 (CBS², 2006). De meeste woningen die voor de periode waarin de 'negentiende eeuwse schillen' zijn aangelegd rondom de oude stadscentra vertonen over het algemeen geen problemen omdat deze 'hoog en droog' zijn gebouwd. Het aantal woningen in Nederland bedroeg in 1899 ongeveer 900.000 (CBS³, 2006). Het aantal woningen dat voor de periode waarin de 'negentiende-eeuwse schillen' zijn aangelegd is gebouwd, kan geschat worden op ongeveer 600.000 (Habiforum, 2004). Als dit van het totaal aan woningen dat voor 1945 is gebouwd wordt afgetrokken, blijven er 830.000 woningen over.

Ongeveer een kwart van Nederland ligt onder de zeespiegel (Van de Ven et al. 2004). Met name in deze laaggelegen gebieden doen zich problemen voor. Houten palen werden in deze gebieden veelvuldig toegepast (SHR, 2000). Bij stijgende grondwaterstanden doen zich in de laaggelegen gebieden over het algemeen ook eerder problemen voor.

Wanneer van deze 830.000 woningen een kwart wordt genomen blijven er ongeveer 200.000 woningen over. Dit is bijna 100.000 minder dan wanneer de getallen in de bovenstaande tabel zouden worden opgeteld.

Dit verschil zou in de eerste plaats verklaard kunnen worden door de grove schatting die is gemaakt bij het percentage van Nederland waar zich problemen zouden voordoen.



In hogergelegen gebieden kunnen zich wel degelijk problemen voordoen bijvoorbeeld bij gemetselde funderingen op staal in combinatie met een stijgende grondwaterstand als gevolg van bijvoorbeeld rioleringsvervangingswerkzaamheden.

In de tweede plaats is het jaartal 1945 wellicht te scherp gesteld. Er is bijna altijd sprake van een overgangperiode. In de derde plaats is het aantal woningen dat gebouwd is voor de periode van de 'negentiende-eeuwse schillen' gebaseerd op een inschatting.

Wel kan met deze grove berekening gezegd worden dat de getallen in de tabel de werkelijkheid redelijk tot goed benaderen.

Uit gegevens in Dordrecht blijkt dat het waardedrukkend effect op de vastgoedwaarde tussen de 50 en 100 procent van de (fictieve) herstellkosten ligt. Gemiddeld zou hiervoor een percentage van 75 procent genomen kunnen worden. De eerdergenoemde gemiddelde herstellkosten uit het voorbeeld van Dordrecht bedragen € 57.000,-. Wanneer dit als uitgangspunt zou worden genomen, zou een globaal landelijk effect voor de vastgoedwaarde berekend kunnen worden.

Tabel 5 **Potentieel landelijk waardedrukkend effect vastgoedwaarde**

effect (grondwateronderlast)	landelijk waardedrukkend effect
waardedrukkend effect	$(75\% \times 57000) \times 140.000 = € 5.985.000.000$
<i>totaal</i>	€ 5.985.000.000

Het totale mogelijke waardedrukkend effect op de vastgoedwaarde in Nederland komt ongeveer op een bedrag wat de zes miljard euro benaderd.

6.2 Kostenanalyse

In de vorige paragraaf is reeds het effect van de grondwaterproblematiek op de vastgoedwaarde in het oude stedelijke gebied aan de orde geweest. In dit hoofdstuk zal aan de orde komen wat de herstelkosten kunnen zijn aan de bebouwing als gevolg van grondwaterstandwisselingen. Deze herstelkosten zullen vervolgens worden herleid naar een schatting van de mogelijke kosten per pand. Hiervoor zal een woning model staan van een gemiddelde afmeting welke vaak voorkomt in het oud stedelijk gebied. Tot besluit van het hoofdstuk zullen de kosten worden geëxtrapoleerd naar het landelijk niveau. Het resultaat zal een inschatting zijn van de totale kosten die voortvloeien uit de schade die wisselende grondwaterstanden toe kunnen brengen aan het vastgoed.

Deze extrapolatie verbreedt de benadering van een smalle, kostengerichte benadering naar een brede, op de (landelijke) maatschappij gerichte benadering.

6.2.1 Inschatting gemiddelde kosten per woning

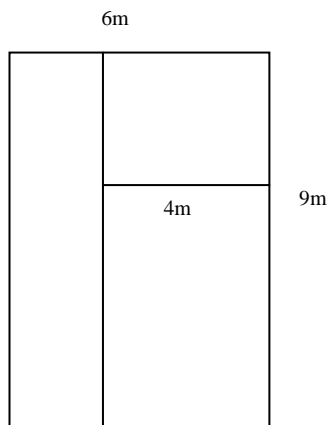
In bijlage vijf is een tweetal tabellen opgenomen met daarin de maatregelen en bijbehorende kosten die voort kunnen vloeien uit de grondwaterproblematiek. De maatregelen zijn ontleend aan de tabellen die in bijlage twee van dit rapport zijn opgenomen. De kosten zijn opgesplitst in kosten die kunnen voortvloeien uit grondwateroverlast en kosten die kunnen voortvloeien uit grondwateronderlast. Verder is er een onderscheid gemaakt naar kosten op particulier terrein en kosten op openbaar terrein.

6.2.2 Model woning en openbaar terrein

Voor het maken van een inschatting van de kosten aan het vastgoed voortkomend uit grondwaterstandwisselingen, is een woning van een gemiddelde grootte genomen. Het gaat hier om een woning met een inhoud van 400 kubieke meter. Dit betreft ongeveer de gemiddelde grootte voor een woning uit de bouwperiode waarbij zich de meeste problemen voordoen, zo blijkt uit gegevens binnen de Gemeente Dordrecht¹ (2006). Omdat dit onderzoek zich richt op het (oude) stedelijk gebied zal uitsluitend deze woning model staan voor de kostenberekening. Andere typen bebouwing als bedrijfsterreinen, detailhandel en horecavoorzieningen, openbare voorzieningen en sociaal- culturele voorzieningen zullen buiten beschouwing worden gelaten. Uit cijfers van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2006) blijkt overigens, dat van het bebouwde gebied in Nederland ongeveer 70 procent voor rekening komt van het woongebied. Dit percentage geeft aan dat het overgrote deel van de bebouwing uit woningen bestaat. Verder woont maar ongeveer 25 procent van de Nederlandse bevolking in niet-stedelijk gebied (CBS¹, 2006). Hieruit kan geconcludeerd worden dat een groot deel van de woningen zich concentreert in het stedelijk gebied.



Modelwoning



Overzicht afmetingen funderingsbalken

Inhoud: 400m³

Vloeroppervlak beganegrond: ongeveer 54m²

Afmeting beganegrondvloer: 9 x 6m

Oppervlak tuin: 10 x 6m

Afmeting tuin: 60m²

Aantal houten funderingspalen: ongeveer 33 stuks

Bron: afdeling Bouw- & Installatietechniek Grontmij

De kosten die aan de openbare ruimte gemaakt zouden kunnen worden als gevolg van wisselende grondwaterstanden zullen in de berekening per woning worden uitgedrukt. Hiervoor is een gemiddeld aantal vierkante meters verhard oppervlak (bestrating) en openbaar groen een noodzakelijk gegeven. Deze gemiddelde vierkante meters zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 6 Aantal m² openbare ruimte per woning

openbare ruimte	hoeveelheid (m ²) per woning
bestrating	31
wijkwegen	23
parkeren	8
openbaar groen	78
wijkparken	4
buurtparken	63
groenstroken	8
speeltuinen	3

(Bron: Voogd, 2001)

6.2.3 Kosten grondwateroverlast

De kosten die voort zouden kunnen vloeien uit een te hoge grondwaterstand, zijn in de volgende tabel weergegeven. De meest voorkomende maatregelen zijn meegenomen. Het gaat hierbij om de vaak gebruikte combinatie van maatregelen. Dit is gebaseerd op aanwezige kennis binnen Grontmij van veelvoorkomende (combinaties van) maatregelen. In het geval van een of/of-situatie, waarbij verschillende maatregelen niet tegelijkertijd kunnen worden genomen, zal een gemiddelde worden genomen van de verschillende opties. Dit geldt in dit geval voor het aanbrengen van folie, schuimbeton en schelpen. Ook het vervangen van rotte vloerdelen en het afdichten van doorvoeren en aansluitingen kan niet tegelijkertijd plaatsvinden.



Het vervangen van rotte vloerdelen gebeurt bij houten vloeren, en het afdichten van doorvoeren en aansluitingen is een maatregel die genomen wordt bij betonvloeren. Er is uitgegaan van een boom per woning. Dit is gebaseerd op het bomenbeleid zoals dat wordt opgesteld voor het stedelijk gebied in adviezen van de Bomenstichting (Bomenstichting, 2003). Het effect op de vastgoedwaarde is eveneens in de tabel opgenomen. In geval van grondwateroverlast zijn geen effecten op de vastgoedwaarde bekend. Om die reden is in de tabel het gavel nul ingevuld.

Tabel 7 Potentiële kosten grondwateroverlast per woning

maatregelen	kosten woning 400m³
overlast Particulier terrein	
aanbrengen folie	gemiddeld € 875
aanbrengen schuimbeton	
aanbrengen schelpen	
afdichten aansluitingen constructie	€ 500 (uitgangspunt 2 kopkanten + 1 zijkant)
afdichten leidingdoorvoeren	€ 1.020 (uitgangspunt 5 stuks)
isoleren leidingen	€ 90 (uitgangspunt 5m)
injecteren constructieonderdelen	gemiddeld € 2915
herstel rotte vloerdelen	
verbeteren ventilatie	€ 145 (uitgangspunt 6 stuks)
verbeteren horizontale drainage	€ 970 (uitgangspunt 54m ²)
verbeteren verticale drainage	€ 970 (uitgangspunt 54 ²)
herstel geoxideerde leidingen	€ 325 (uitgangspunt 5m)
herstel vocht/schimmel op muren	€ 2.000 (uitgangspunt 10m ²)
vervangen beplanting	€ 1.135
overlast openbaar terrein	
vervangen beplanting	€ 1.200 (uitgangspunt 67m ² park)
vervangen gazon	€ 100
vervangen boom	€ 550
vergroten verdamping door beplanting	€ 5.070
vervangen bestrating	€ 1.400
vervangen / aanbrengen drainering	€ 160
totaal	€ 18.500 /woning

6.2.4 Kosten grondwateronderlast

Een te lage grondwaterstand kan leiden tot kosten aan het vastgoed die eveneens in een tabel kunnen worden weergegeven. Eveneens zijn de meest voorkomende maatregelen of combinaties van maatregelen meegenomen. Voor het bijplaatsen van funderingspalen, het aanbrengen van funderingspalen en het vervangen van houten paalkoppen door betonnen paalkoppen is een gemiddelde genomen. Deze drie opties komen in de praktijk niet tegelijkertijd voor.

Tabel 8 Potentiële kosten grondwateronderlast per woning

maatregelen	woning 400 m ³	
onderlast particulier terrein		
<i>vervangen fundering</i>		
bijplaatsen in het werk gemaakte funderingspalen	€ 26.435 (uitgangspunt 17 palen)	gemiddeld € 34000
versterken fundering met betonnen ringbalk	€ 13.935	
aanbrengen in het werk gemaakte funderingspalen	€ 7.920 (uitgangspunt 17 palen)	
versterken fundering met betonnen ringbalk	€ 13.935	
vervangen houten paalkoppen door betonnen paalkoppen	€ 25.641 (uitgangspunt 33 paalkoppen)	
versterken fundering met betonnen ringbalk	€ 13.935	
herstel verzakking tot 250mm hoogte	€ 11.000	
herstel scheurvorming	€ 2.000	
herstel lekkende leidingen	€ 325	
herstel opleggingen	€ 4.800	
herstel kozijn	€ 230	
herstel raam	€ 95	
vervangen beplanting (+/- 20%)	€ 250	
onderlast openbaar terrein		
vervangen bestrating	€ 1.400/woning	
totaal	€ 54.000 / woning	

6.2.5 Algemene kosten

Onder de algemene kosten vallen de kosten die nodig zijn voor monitoring van de grondwaterstanden en onderzoek naar de ontwikkeling van de grondwaterstanden. Deze kosten zijn voor zowel grondwateroverlast als grondwateronderlast gelijk. Voor beide situaties is het noodzakelijk de grondwaterstand in kaart te brengen en te interpreteren. De kosten die zijn opgenomen in de bijlage zijn ontleend aan de situatie in Dordrecht. Om een beeld te krijgen van de kosten per woning, zullen de kosten gedeeld worden door het aantal woningen in de stad Dordrecht. Het doel van het aanleggen van een meetnet om de grondwaterstand te monitoren is immers niet alleen gericht op de risicogebieden. De Gemeente zal in veel gevallen proberen om van het gehele gebied de grondwaterstand te volgen. Het aantal woningen in Dordrecht bedroeg in 2004 52.230 woningen (CBS⁴, 2006). Ook in dit geval zullen alleen de woningen worden meegenomen omdat deze een groot deel van het stedelijk gebied beslaan. Wanneer de kosten gedeeld worden door het aantal woningen, ontstaan de volgende resultaten. Voor de jaarlijkse kosten voor monitoring is de contante waarde bepaald voor een periode van 30 jaar met een gehanteerde discontovoet van vier procent, gebaseerd op aanwezige kennis binnen Sterk Consulting.

Tabel 9 Algemene kosten

algemene kosten	kosten per eenheid	
algemene maatregelen		
Monitoring Jaarlijks	€ 101.000 / 52.230 woningen =	€ 2 / woning
	contante waarde =	€ 35 / woning
Monitoring eenmalig	€ 24.000 / 52.230 woningen =	€ 0,50 / woning
totaal / woning	€ +/- 35 / woning	



Uit bovenstaande tabel blijkt dat de algemene kosten voor monitoring per woning in het niet vallen bij de specifieke herstelkosten die aan de woning gemaakt zouden kunnen worden. Om die reden zijn de algemene kosten in de verdere berekening buiten beschouwing gelaten, de berekening van de potentiële landelijke kosten uitgezonderd.

6.2.6 Opschaling potentiële kosten Nederland

Bij het extrapoleren van de kosten voor zowel grondwateroverlast als grondwateronderlast naar het landelijk niveau, zullen de kosten per woning vermenigvuldigd worden met het aantal gevallen van grondwateroverlast of grondwateronderlast in Nederland. De algemene kosten hebben zoals gezegd niet alleen betrekking op de probleemgevallen. De algemene kosten hebben betrekking op een gebied (bijvoorbeeld een stad) waarvan de grondwaterstand in de gaten wordt gehouden. In dit geval is aangenomen dat deze monitoring alleen plaatsvindt in de laaggelegen gebieden in Nederland. Dit is ongeveer een kwart van Nederland. Grofweg zouden deze kosten dan over een kwart van het aantal woningen in Nederland verdeeld moeten worden. Het totaal aantal woningen in Nederland bedraagt op dit moment 6.858.719 woningen (CBS⁵, 2006). Een kwart hiervan zou ongeveer 1.700.000 woningen.

Tabel 10 Potentiële landelijke kosten grondwaterproblematiek

soort problematiek	totale landelijke kosten
grondwateroverlast	€ 18.500 x 15.0000 = € 2.775.000.000
grondwateronderlast	€ 54.000 x 14.0000 = € 7.560.000.000
algemene kosten	€ 35 x 1700000 = € 59.500.000
totaal	+/- € 10.000.000.000

Uit bovenstaande tabel kan worden opgemaakt dat de mogelijk kosten als gevolg van de grondwaterproblematiek zouden kunnen oplopen tot ongeveer tien miljard euro.



6.3 Conclusies

Vastgoedwaarde

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat grondwateroverlast (nog) niet tot een waardedrukkend effect leidt en grondwateronderlast wel. De schimmel-aantasting van houten funderingspalen vormt in Dordrecht de grootste bedreiging voor de waarde van het vastgoed. Een belangrijk grensjaartal in de risicogebieden is 1945. Aangenomen wordt dat de panden die hierna zijn gebouwd geen problemen vertonen. Panden die zich in de hoog en droog gelegen oude binnenstad bevinden worden eveneens niet als mogelijke probleemgevallen beschouwd.

Voor de belastingjaren 2001 tot 2004 is door de gemeente een correctiemethode toegepast op de waarde van panden voor de WOZ. In Dordrecht is voor deze belastingjaren in de risicogebieden of aandachtsgebieden een algemeen waardedrukkend effect op de marktwaarde van vijf procent aangehouden. Dit percentage is destijds na marktonderzoek vastgesteld.

Het waardedrukkend effect wordt bijgesteld wanneer een pand onderhevig is aan monitoring. De risicofactor wordt hiermee vergroot. Het waardedrukkend effect wordt dan eveneens vergroot tot zo'n 20 procent.

Wanneer de herstelkosten van de fundering bekend zijn, kan het waardedrukkend effect gezien worden als de som van de vijf procent van de onbesmette waarde plus de funderingsherstelkosten min de subsidie die verkregen kan worden. Wanneer de herstelwerkzaamheden aan de fundering zijn uitgevoerd, is het waardeniveau teruggebracht naar de 'onbesmette waarde'.

De afgelopen jaren is de bekendheid met de funderingsproblematiek onder het publiek sterk toegenomen. Dit heeft geresulteerd in een waardedrukkend effect wat tussen de 50 en 100 procent van de (fictieve) herstelkosten ligt. Wanneer de onzekerheid over de toestand van de fundering groter is, zal het waardedrukkend effect dichter tegen de 100 dan tegen de 50 procent aanliggen. Wanneer er na onderzoek meer bekend is over de toestand van de fundering, verschuift dit percentage richting de 50 procent. De gemiddelde herstelkosten liggen gemiddeld op ongeveer € 57.000,-. Zonder dat er onderzoek is gepleegd naar de fundering is het waardedrukkend effect dus al aanmerkelijk groter dan de door de gemeente gehanteerde vijf procent van de onbesmette waarde van het vastgoed voor de belastingjaren 2001 tot 2004.

Het door de gemeente gehanteerde percentage van 20 procent van de onbesmette waarde voor panden die onderhevig zijn aan monitoring komt redelijk overeen met de kosten die in de praktijk daadwerkelijk gemaakt worden.

Landelijk zou het waardedrukkend effect van grondwateronderlast voor de vastgoedwaarde op een bedrag kunnen komen wat de zes miljard euro benaderd. Dit zou een omvangrijk effect zijn op de Nederlandse vastgoedmarkt.

De woningen in het aandachtsgebied stammen uit een bouwperiode die onder kopers zeer geliefd is. Dit betekent dat niet in alle gevallen dergelijke percentages van de vraagprijs worden afgetrokken. Er zijn ook voorbeelden van woningen waarbij de koopsom uiteindelijk niet ver van de vraagprijs afligt.

Panden die zich in het risicogebied bevinden blijken gemiddeld langer te koop te staan dan panden die zich niet in een risicogebied bevinden. Een langere verkooptijd kan tevens voor een sterkere prijsdaling van een pand leiden. Dit effect is dan eveneens toe te schrijven aan het funderingsprobleem.

De onzekerheid over de fundering heeft de grootste impact op de vastgoedmarkt. Dit blijkt ook wanneer over de toestand van een fundering niets bekend is. Dan haakt ongeveer de helft van de kopers af..



Verder is het in het geval van een bouwblok van belang dat bekend of de bewoners bereid zijn funderingsherstel te plegen of niet. Als één iemand dit doet en de rest niet, dan komt de schade die hierdoor aan het bouwblok ontstaat voor rekening van de 'hersteller'.

Een effect wat alleen door geruchten wordt bevestigd, is het effect op de aantrekkelijkheid van potentiële grondwaterprobleemgebieden op investeerders. Zij bij de locatiekeuze voor hun vastgoed steeds vaker rekening te houden met de (mogelijke) grondwaterstanden ter plaatse. Laaggelegen gebieden lijken steeds vaker te worden gemeden.

Kosten

Het totaal aan kosten die voort zouden kunnen vloeien uit de Nederlandse grondwaterproblematiek komt hiermee op ongeveer tien miljard euro. Dit betekent landelijk gezien een aanzienlijke herstelopgave. Per woning komt dit voor grondwateroverlast neer op een bedrag van ongeveer € 18.500,-- en voor grondwateronderlast op een bedrag van € 54.000,--



7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Grondwater en oud stedelijk gebied

Gezien vanuit de oude binnensteden zal de aloude Hollandse traditie van vechten tegen het water naar verwachting nog lang voortgezet moeten worden. De gevoeligheid van de bebouwing in het oud stedelijk gebied voor grondwaterstandswisselingen in combinatie met de toekomstige ontwikkelingen aangaande het grondwater liggen hieraan aan ten grondslag.

Een belangrijk deel van de oorzaken en gevolgen van grondwaterproblemen treft het oude stedelijke gebied, rijk aan monumenten. De gebouwen zijn gebouwd met als uitgangspunt de in het bouwjaar bekende gegevens over de bodem en de grondwaterstand. Veranderingen hierin kunnen daarom problemen veroorzaken aan de bebouwing.

Grondwateronderlast kan ontstaan doordat lekkende rioleringen als drainage gaan fungeren. De in de jaren toegenomen bebouwingsgraad kan de infiltratie van regenwater verkleinen en hiermee de grondwaterstand doen verlagen.

Een lagere grondwaterstand kan via bodemdaling tot grondwateroverlast leiden. Grondwateroverlast kan eveneens ontstaan doordat oude, vaak lekkende rioleringen worden vervangen. Ouderdom van zowel drainagestelsels als gebouwen kunnen ook oorzaken zijn voor grondwateroverlast. Drainagestelsels kunnen hierdoor niet goed meer functioneren en constructies van gebouwen die ooit waterdicht waren kunnen gaan lekken.

De problemen met de grondwaterstand zijn logischerwijs gerelateerd aan het gedeelte van de monumenten wat zich in de grond bevindt; de fundering.

Bij monumenten in oude binnensteden zijn twee veelvoorkomende funderingstypen te onderscheiden, namelijk de gemetselde fundering op staal en de houten paalfundering (met daarop baksteen metselwerk). Optrekkend vocht is een probleem wat zich voordoet bij het funderingsmetselwerk. Houtaantasting is een probleem wat zich voordoet bij houten funderingspalen.

Tabel 11 *Indeling problemen funderingen en grondwater monumenten*

	problemen	
funderingen monumenten	optrekkend vocht via gemetselde funderingselementen	aantasting houten funderingselementen
		door bacteriën door schimmels



7.2 Aantasting houten paalfunderingen

De aantasting van houten paalfunderingen kan op twee manieren verlopen, namelijk door schimmels en door bacteriën.

Schimmelaantasting treedt op wanneer een paal boven water komt te staan. Dit heeft te maken met de aanwezigheid van zuurstof welke cruciaal is voor schimmelaantasting. De softrotschimmel is de meest voorkomende aantaster van houten funderingspalen. Deze schimmel heeft minder zuurstof nodig dan andere schimmels.

De mate van aantasting kan worden bepaald aan de hand van de cumulatieve droogstandtijd. Bij een cumulatieve droogstandtijd van ongeveer tien tot 20 jaar kan de schade aan de palen dermate groot zijn dat herstel noodzakelijk is. Een eenmalige droogstandtijd van enkele maanden of een kortdurende wisseling van de grondwaterstand (dagelijks of enkele weken) is onvoldoende om het aantastingsproces in gang te zetten.

Bacteriële aantasting treedt op bij houten funderingspalen die zich onder het grondwaterpeil bevinden. De aantasting wordt hierbij veroorzaakt door bacteriën die waarschijnlijk in een milieu met een zeer laag zuurstofgehalte kunnen leven. De bacterie die het meest voorkomt in houten funderingspalen is de erosiebacterie. Waarschijnlijk komt deze het meeste voor omdat de bacterie in een zeer zuurstofarme omgeving actief kan zijn. Over de wijze waarop de zuurstof onder het grondwaterpeil wordt aangevoerd kunnen slechts een aantal veronderstellingen worden gedaan. Zandachtige grond rond de funderingspaal zou een zuurstofbron kunnen zijn. Verder zou in de paal zuurstof aanwezig kunnen zijn of zou via de paal zuurstof aangevoerd kunnen worden. Lekkende rioleringen zouden een bron kunnen zijn voor de aanvoer van stoffen die door bacteriën als alternatieve energiebron voor zuurstof gebruikt zouden kunnen worden.

De snelheid waarmee de bacteriële aantasting verloopt, is slechts met een grof getal aan te geven. Na ongeveer 60 tot 90 jaar kan een funderingspaal dusdanig ernstig zijn aangetast dat ingrijpen noodzakelijk is.

7.3 Optrekkend vocht

Het proces van optrekkend vocht kan op twee manieren plaatsvinden.

In de eerste plaats kan vocht via capillaire opstijging vanaf de onderkant van de funderingsmuur omhoog trekken. Voorwaarde hiervoor is dat de fundering met zijn 'voet' in het water staat. De 'gaten' die zich in de voegen bevinden vormen een blokkade voor het proces van optrekkend vocht. De voegen beperken hiermee de stijghoogte van dit proces tot enkele stenen. Om daadwerkelijk tot de woning binnen te dringen moet het vocht ongeveer 13 tot 19 stenen overbruggen. Dit wordt lang niet gehaald. In de voegen kunnen echter zouten achterblijven die de stijghoogte gunstig kunnen beïnvloeden. Veronderstelt kan worden dat de 'gaten' in de voegen ook hier voor een dusdanige beperking zorgen dat het vocht niet de genoemde 13 tot 19 stenen zal overbruggen.

In de tweede plaats kan een hoge luchtvochtigheid in combinatie met een temperatuurverschil tussen de funderingsmuur en de kruipruimte voor condens zorgen tegen de binnenkant van de funderingsmuur. Condens kan de funderingsmuur in trekken en het proces van capillaire opstijging in de funderingsmuur in gang zetten. Dit temperatuurverschil hoeft bij een vochtgehalte van 95 procent maar een graad te zijn om condens te veroorzaken. Een vochtgehalte van 97 procent wordt al gehaald wanneer de kruipruimtebodembodem twee tot vier massaprocent water bevat. Dit watergehalte in de bodem treedt bij zandachtige bodems op bij een grondwaterstand van 30 tot 80 centimeter onder de kruipruimtebodembodem.



Hoe fijner de structuur van de grond, hoe dieper de grondwaterstand kan zitten om toch een dergelijk watergehalte in de kruipruimtebodembodem te bereiken.

Het proces van optrekkend condensvocht kan wel tot overlast in de leefruimte van de woning zorgen. Deze stijghoogte bedraagt ongeveer 10 tot 20 centimeter, waarmee het vocht tot één tot twee stenen boven de plinten in de woning uit kan komen. Deze 10 tot 20 centimeter zouden na ongeveer een half jaar gehaald kunnen worden, wanneer de kruipruimte vochtig is.

In geval van een vochtige kruipruimte kunnen ook houten vloeren worden aange-tast door schimmels. Deze aantasting kan na ongeveer twee tot vijf jaar ernstige vormen aannemen.

En kruipruimte die eenmaal nat is, heeft ongeveer twee tot vijf jaar nodig om weer droog te kunnen worden.

Een samenvatting van de gegevens die voor wat betreft het tijdsbestek waarbin-nen problemen kunnen optreden, kan in een tabel worden weergegeven.

Tabel 12 Samenvatting tijdsbestek problemen monumenten

aantasting	tijdsbestek ontstaan problemen
schimmelaantasting	cumulatieve droogstandtijd van minimaal 10-20 jaar
bacteriële aantasting	periode onder grondwaterpeil van 60-90 jaar
optrekkend vocht	na ongeveer een half jaar
aantasting houten vloeren	na 2-5 jaar

7.4 Problemen en bouwjaar

Een conclusie die uit dit onderzoek kan worden getrokken is, dat het jaar 1945 grofweg als een belangrijk scheidingsjaar kan worden gezien voor grondwaterge-voelige en niet-grondwatergevoelige gebouwen. Dit kan inzichtelijk worden ge-maakt aan de hand van onderstaande tabel.

Tabel 13 Overzicht mogelijke probleemgevoelige bouwjaren

x

Met de grootschalige toepassing van beton in de bouw, kan globaal gezegd wor-den dat gemetselde funderingsconstructies na de Tweede Wereldoorlog nauwe-lijks meer zijn toegepast. De toepassing van betonnen opzetters en betonnen fun-deringsbalken bij houten paalfunderingen zorgde ervoor dat dit funderingstype van schimmelaantasting gevrijwaard kon blijven. Met de betonnen opzetters kon-den de houten palen tot grotere diepten worden gebracht. Droogstand werd hier-mee voorkomen. De betonnen funderingsbalken maakten een einde aan de aantas-tingsproblemen van het langshout.

Houten beganegrondvloeren werden na de Tweede Wereldoorlog eveneens steeds minder toegepast. Hiervoor in de plaats kwam de betonnen beganegrondvloer.



Wanneer de technische levensduur van een gebouw en de tijd waarna bacteriële aantasting ernstige schade toe kan brengen in ogenschouw worden genomen, wordt 1945 eveneens als grensjaartal benaderd. De ouderdom van gebouwen kan ertoe leiden dat constructies niet meer bestand zijn tegen het grondwater. Het Bouwbesluit maakte in 1992 een einde aan de lekken in de beganegrondvloeren door het vastleggen van de luchtdichtheid van de beganegrondvloeren. Van de rioleringen uit de periode tussen ongeveer 1925 en 1965 is op dit moment nog ongeveer 20 procent over. Dit type rioleringsbuizen is gevoelig voor lekkage. Hierdoor kan grondwater wegstromen en kan bij vervanging grondwateroverlast ontstaan.

Globaal kan gesteld worden dat stedelijke gebieden met gebouwen die voor 1945 zijn gebouwd gevoelig kunnen zijn voor grondwaterproblemen. Er moet wel worden gewezen op een overlap tot ongeveer de jaren zestig in verband met de toepassing van lekkagegevoelige rioleringen, gemetselde funderingen op staal, houten funderingspalen, houten beganegrondvloeren en de technische levensduur. De toepassing van beton in de bouw vanaf ongeveer 1920 zorgt tevens voor uitzonderingen van niet-gevoelige bouwwerken in de periode van voor 1945.

7.5 Economische consequenties

De economische consequenties kunnen worden opgesplitst in economische gevolgen voor grondwateroverlast en grondwateronderlast. Hierbij is uitgegaan van een zogenaamd 'worst case-scenario'. Dit wil zeggen dat de te nemen maatregelen die in de berekening zijn meegenomen, in de praktijk lang niet altijd tegelijkertijd voor hoeven te komen. Grondwateronderlast heeft de grootste economische impact. De kosten aan de woningen zelf hebben hierin het grootste aandeel. Dit geldt ook voor de economische gevolgen voor grondwateroverlast.

In de praktijk liggen de kosten aan een woning bij grondwateronderlast ongeveer tussen de € 10.000,- en € 200.000,-. Bij grondwateroverlast liggen deze bedragen aanzienlijk lager. Een schatting van de kosten zou neerkomen op ongeveer € 500,- tot € 2.000,-.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de herstelkosten in de stad waarschijnlijk hoger liggen dan daarbuiten door een veelheid van kabels en leidingen onder de grond en door de slechtere bereikbaarheid boven de grond.

Samenvattend kunnen de economische consequenties in de onderstaande tabel worden weergegeven.

Tabel 14 Samenvatting economische consequenties grondwaterproblematiek

soort problematiek	kosten / woning	totale landelijke kosten
grondwateroverlast		
particulier terrein	€ 10.000	
openbaar terrein	€ 8.500	
grondwateroverlast totaal	€ 18.500	x 150.000 = € 2.775.000.000
grondwateronderlast		
particulier terrein	€ 52.600	
openbaar terrein	€ 1.400	
grondwateronderlast totaal	€ 54.000	x 140.000 = € 7.560.000.000
algemene kosten totaal	€ 35	x 170.000 = € 59.500.000
totale potentiële kosten		+/- € 10.000.000.000
totaal waardedrukkend effect grondwateronderlast		+/- € 6.000.000.000



Uit de bovenstaande tabel kan worden geconcludeerd dat de economische consequenties van de grondwaterproblematiek wel eens benaderd zouden kunnen worden met een bedrag van circa tien miljard euro voor de potentiële kosten en een bedrage van circa zes miljard euro voor het waardedrukkend effect op de vastgoedwaarde. Dit zou een aanzienlijke impact betekenen op de Nederlandse economie.

7.6 Mogelijke effecten op de stad

Aan het einde van dit onderzoek zal kort worden ingegaan op de mogelijke effecten op het stedelijk gebied. Het imago van een stad waarin funderingsproblemen zich voordoen, heeft gezien de situatie in Dordrecht wel degelijk deuken opgelopen. Een adequate aanpak van het probleem en een goede informatievoorziening kan dit imago weer gunstig bijstellen, zo blijkt uit de situatie in Dordrecht.

De panden die te maken hebben met de problemen liggen vaak in een gewild gebied. Negentiende-eeuwse stadswoningen en de bekende ‘jaren dertig woningen’ bijvoorbeeld zijn zeer geliefd. Leegstand of verval zullen waarschijnlijk niet snel vat kunnen krijgen op deze wijken.

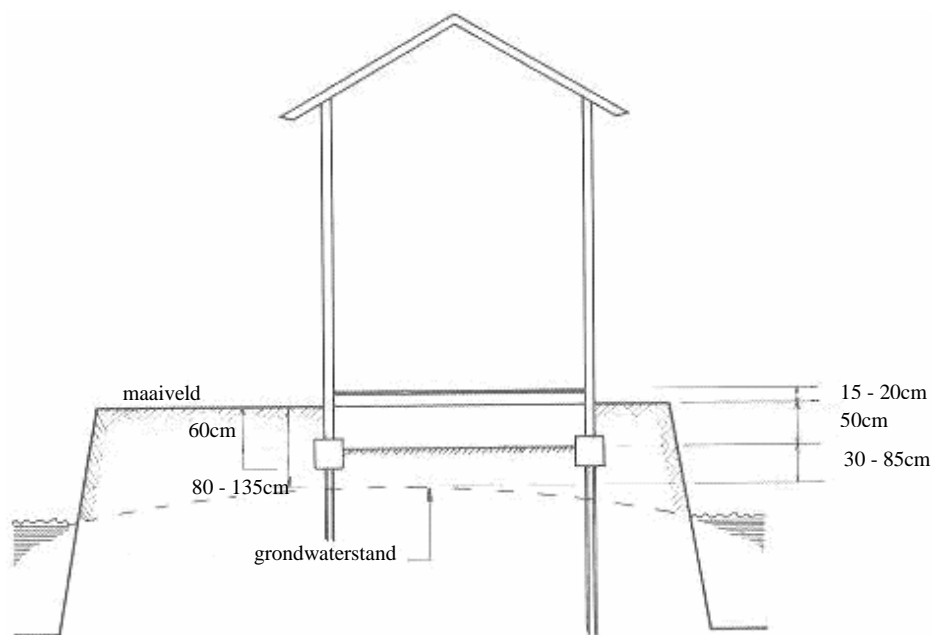
Effecten op de ontwikkeling van nieuw stedelijk gebied in het laaggelegen Nederland worden wel verwacht. Er doemen steeds meer geluiden op van voorbeelden waarbij investeerders bij hun locatiekeuze voor vastgoedvestigingen wel degelijk rekening houden met de grondwaterstanden ter plaatse. De laaggelegen gebieden lijken steeds vaker te worden gemeden. De gevoeligheid van dit onderwerp maakt het achterhalen van concrete informatie hierover zeer lastig.

Met de stedelijke (her)ontwikkelingsopgave kunnen grondwaterproblemen ondervangen worden door rekening te houden met de grondwaterontwikkeling. Enerzijds zou de aanpak van grondwaterproblemen gecombineerd kunnen worden met stedelijke vernieuwingsprojecten. Anderzijds zou men grondwaterproblemen kunnen voorkomen door bij nieuwe stedelijke ontwikkeling rekening te houden met het grondwaterpeil. Met het juridisch vastleggen van de meest geschikte methode voor bouwrijp maken, gekoppeld aan de watertoets, zullen veel problemen in de toekomst kunnen worden voorkomen.

7.7 Aanbevelingen

Een eerste aanbeveling die gedaan zou kunnen worden betreft eventuele oplossingsrichtingen voor de grondwaterproblematiek.

De oplossingsrichtingen kunnen geïllustreerd worden aan de hand van de volgende figuur.



Figuur 9 Schematische weergave fundering en grondwaterstand (bron figuur: SBR (1986)).

Een oplossing voor het droogvallen van de houten funderingspalen zou het verhogen van de grondwaterstand kunnen zijn tot een niveau waarbij de funderingspaal volledig onder water komt te staan. Dit zou bij een grondwaterstand van 60 centimeter onder het maaiveld het geval zijn.

Een oplossing voor het terugdringen van het vochtgehalte in de kruipruimte zou het verlagen van de grondwaterstand kunnen zijn tot een niveau waarbij de kruipruimtebodem minder dan twee tot vier massaprocent water bevat. Een grondwaterstand dieper dan 80 tot 135 centimeter onder het maaiveld zou hiervoor voldoende zijn, afhankelijk van de grondsoort.

Deze oplossingsrichtingen zijn echter in strijd met elkaar. Wanneer de grondwaterstand wordt verhoogd om de houten palen onder water te krijgen, zal het vochtgehalte in de kruipruimte zo hoog zijn dat condens zal optreden. Wanneer de grondwaterstand wordt verlaagd om het vochtgehalte van de kruipruimtebodem onder de twee tot vier massaprocent te krijgen, zullen de funderingspalen droogvallen. Het proces van capillaire opstijging in hout is niet in staat om het hout boven de grondwaterspiegel van zoveel vocht te voorzien dat schimmelaantasting niet optreedt.

Het verlagen van de grondwaterstand onder een gemetselde fundering op staal brengt eveneens verzakkingrisico's met zich mee. Gemetselde funderingen op staal zijn hiervoor extra gevoelig.

Dit betekent dat in een gebied waar beide funderingen in de nabijheid van elkaar voorkomen een oplossing vanuit het grondwater vaak geen soelaas zal bieden. Het stedelijk gebied waar zich de meeste problemen met grondwater zullen voordoen ligt voornamelijk in de laaggelegen gebieden in Nederland. In deze gebieden vereist de slechte bodemgesteldheid in veel gevallen het gebruik van funderingspalen. Houten funderingspalen komen in deze gebieden dan ook veelvuldig voor. De oudste delen van de binnensteden zijn vaak gebouwd op de hogergelegen gebieden en staan op de beste grond, wat mogelijk het gebruik van funderingspalen niet noodzakelijk maakte.

Deze situatie zou een verschil in funderingstypen betekenen. Het is bekend dat in oude binnensteden funderingstypen sterk verschillen.

Het in de nabijheid van elkaar voorkomen van zowel houten paalfunderingen als gemetselde funderingen op staal zou betekenen dat een oplossing voor de funderingsproblemen niet vanuit het grondwater geïnitieerd kan worden. Een grondwaterstand van 60 centimeter beneden maaiveld, in combinatie met bijvoorbeeld een hygrische afscherming van de kruipruimtebodemp of het injecteren van de funderingsmuur zou in dat geval de best mogelijke oplossing kunnen zijn.

De funderingspalen staan dan onder water en het vocht wordt uit de constructie geweerd. Een verschil tussen de kruipruimtebodemp en de grondwaterstand zou dan tien centimeter bedragen. Dit is een gebruikelijke veilige afstand tussen een eventueel aan te brengen folie en de grondwaterstand.

Vanuit het oogpunt van de voorgestelde oplossingsrichting zal het wettelijk vastleggen van het bouwrijp maken van gronden een belangrijke beleidsmatige verandering betekenen. Dit geldt hier in het bijzonder voor nieuwbouwprojecten in het kader van bijvoorbeeld stedelijke herstructurering in en om het oud stedelijk gebied. Een koppeling tussen de adviezen die voortkomen uit de watertoets en de eisen die gesteld zouden moeten worden aan het bouwrijp maken van gronden zou hiermee verwezenlijkt kunnen worden. Wanneer de afstand van nieuw te bouwen gebouwen tot het grondwater te gering is, zou grondwateroverlast kunnen ontstaan. Grondwateroverlast vormt een acuter probleem dan grondwateronderlast. Dit zou de aandacht voor grondwateroverlast kunnen vergroten en de aandacht voor grondwateronderlast naar de achtergrond kunnen verdrijven. Een logisch gevolg zou een grondwaterpeilverlaging kunnen zijn. Dit kan funest zijn voor de bebouwing in het oud stedelijk gebied. Een goede, wettelijk verankerde koppeling tussen de watertoets en het bouwrijp maken zou veel problemen kunnen voorkomen. Van belang is hierbij wel, dat bij de watertoets een expliciet advies betreffende het grondwater niet mag ontbreken.

Het wetsvoorstel waarin de gemeentelijke verantwoordelijkheid voor het mogelijk (blijven) maken van het ontwateren van particulier terrein en de financiering van maatregelen ter bestrijding van de grondwaterproblematiek worden geregeld, is vooral voor het bestaand bebouwd gebied een belangrijke ontwikkeling. De zorg voor het stedelijk grondwaterpeil zal hiermee juridisch worden vastgelegd. Het voorkomen van grondwateroverlast door een toereikend ontwateringssysteem maakt een verlaging van de grondwaterstand als oplossing voor de grondwateroverlast tot een minder waarschijnlijke optie. Hiermee zou grondwateronderlast als gevolg van een grondwaterstandverlaging kunnen worden voorkomen.

Tot slot zijn er een aantal aanbevelingen te doen voor nader onderzoek. Deze aanbevelingen betreffen met name de economische effecten, waaraan na dit onderzoek slechts globale conclusies kunnen worden verbonden. In de eerste plaats zou het onderzoeken van de relatie tussen de mate waarin grondwateronderlast of grondwateroverlast optreedt en de daarbij komende kosten een gedetailleerder beeld kunnen geven van de optredende kosten.

In de tweede plaats zou onderzocht kunnen worden wat het effect op de vestigingsplaatskeuze van het vastgoed van investeerders daadwerkelijk is. Met deze aanbevelingen zouden de economische en maatschappelijke gevolgen van de grondwaterproblematiek gedetailleerder in kaart kunnen worden gebracht.

In technische zin zijn er voornamelijk twee aanbevelingen te doen voor nader onderzoek. In de eerste plaats zou de aanvoer van zuurstof naar of door de palen nader onderzocht kunnen worden.



Hier mee zou meer duidelijkheid verkregen kunnen worden over de veronderstelde noodzakelijke aanwezigheid van zuurstof voor bacteriële aantasting. Verder zou het onderzoeken van de rol van in de voegen achterblijvende zouten in het proces van optrekkend vocht een waardevolle aanvulling zijn op dit onderzoek.

7.8 De toekomst

De toekomstige ontwikkelingen van het grondwater hebben in belangrijke mate te maken met de verwachte klimaatverandering. Een toenemende neerslagintensiteit en neerslaghoeveelheid kunnen het grondwater doen stijgen. Verder kan de grondwaterstand stijgen doordat het lozen van water op zee lastiger wordt als gevolg van een stijgende zeespiegel. Een toename van de verdamping in de zomer kan de grondwaterstand juist omlaag brengen. Een wisselende grondwaterstand is het gevolg.

Met name de laaggelegen gebieden in Nederland zullen hiervan problemen kunnen ondervinden. Dit aanzienlijke deel van Nederland bestaat dankzij dijken en bemaling. Om de toenemende neerslag in hoeveelheid en intensiteit te kunnen bergen, zal het oppervlaktewaterpeil (en daarmee ook het grondwaterpeil) wellicht moeten worden verlaagd. De bemaling heeft tot gevolg dat de grondwaterstand tegen haar natuurlijk verloop in wordt verlaagd. Dit kan een verdrogingproces van de bodem in gang zetten wat een bodemdaling tot gevolg kan hebben.

Een toenemende verdamping in de zomer kan dit proces versterken.

Als de bodem daalt, stijgt het grondwater relatief gezien. Het grondwater zal dan weer omlaag gebracht moeten worden om het naar het oude niveau te brengen.



Traditiegetrouw waren Nederlanders gewend om het water de kant op te sturen die zij wensten. Een stijgende zeespiegel, een toenemende hoeveelheid en intensiteit neerslag en een dalende bodem zal deze traditie bemoeilijken. Niet alleen op het gebied van waterbeheer en bodembeheer, maar ook op het gebied van de ruimtelijke ordening en het stedelijk gebouwbeheer zullen maatregelen moeten worden genomen.

Geconcludeerd kan worden dat de inrichting van het Nederlandse landschap zich in de toekomst steeds meer zal moeten aanpassen aan het water in plaats van andersom.



8 Literatuur

BACPOLES (EU) (2005), *Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archeological sites*. Wageningen: EU-number EVK4-CT-2001-00043 edited by R. Klaassen.

Bijsterveld, K. (2004), "Vocht in kruipruimten." *Vastgoed* 79 (10), p.59.

Bomenstichting (2003), *Benchmark bomenbeleid gemeente Eindhoven*. Utrecht: Bomenstichting.

CBS (2006), *Woningvoorraad naar bouwjaar (peildatum 1 januari)*. <http://statline.cbs.nl>. (bezocht op 14-02-2006).

CBS¹ (2006), *Volkstelling 1899; algemene uitkomsten per gemeente*. <http://statline.cbs.nl>. (bezocht op 16-02-2006).

CBS² (2006), *Bodemgebruik in Nederland*. <http://statline.cbs.nl>. (bezocht op 14-02-2006).

CBS³ (2006), *Maatstaven Financiële-verhoudingswet (Fvw)*. <http://statline.cbs.nl>. (bezocht op 14-02-2006).

CBS⁴ (2006), *Kerncijfers wijken en buurten 2003-2005*. <http://statline.cbs.nl>. (bezocht op 16-02-2006).

CBS⁵ (2006), *Regionale kerncijfers Nederland*. <http://statline.cbs.nl>. (bezocht op 16-02-2006).

CIW (2004), *Samen leven met grondwater*. Commissie Integraal Waterbeheer, Den Haag.

Cultuurtechnische vereniging (1988), *Cultuurtechnisch vademecum*. Utrecht, Brouwer Offset B.V.

DHV (2000), *Eindrapportage scenariostudie met het oog op aanvullende bronnen effectgerichte maatregelen. Haalbaarheid MTR 2010*. Amersfoort, DHV Water.

Dorland, R. van (2004), Klimaat op drift. In: Roos, R., Woudenberg, S., Dorren, G., Brunner, E., Hollander, R. den (red.) *Opgewarmd Nederland* Utrecht: Uitgeverij Jan van Arkel, p. 19-25.

Dorsser, Van (1987), *Vochthinder in de woningbouw*. Den Haag: Van Dorsser Akoesties Adviesburo.



Dronkers, J. (1995), *Holland of Bolland, de toekomst van de Nederlandse delta*. Utrecht: Universiteit Utrecht.

Dufour, F.C. (1998), *Grondwater in Nederland*. Delft: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.

DWR (2002), *Waterplan Amsterdam; Water – Het Blauwe Goud van Amsterdam. Achtergrondrapport Leven met Grondwater*. Amsterdam: Dienst Waterbeheer en Riolerings.

EG (2000), “Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid.” *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen* 31/12/2000 (L327), p. 6.

Etten, B.D. van, Kuilen, J.W.G. van de, Nijs, P.J.M. den (2000), *Schimmelaantasting in houten paalfunderingen. Een literatuurstudie en inventarisatie van de Nederlandse situatie*. Delft: Centrum voor Houttechnologie, Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) Bouw.

Gemeente Dordrecht (2004), *Dordrecht maakt geschiedenis. Monumentenzorg en archeologie 2004-2010*. Dordrecht: Gemeente Dordrecht, Sector Stadsontwikkeling/afdeling Inrichting Stadsdelen, Bureau Monumentenzorg en Archeologie.

Gemeente Dordrecht (2006), *Gedragslijn aanpak WOZ-waardevraagstuk bij paalfunderingsproblemen*. <http://cms.dordrecht.nl>. (bezoekt op 23-01-2006).

Gool, P. van, P. Jager, R.M. Weisz (red) (2001), *Onroerend goed als belegging*, Groningen/Houten: Wolters-Noordhoff.

Grontmij (2005), *Hydrogeologisch onderzoek Schokland*. Houten: Grontmij Nederland.

Grontmij¹ (2005), *Beheerplan Afvalwater, Regenwater en Grondwater 2006-2010 (Gemeente Dordrecht)*. Houten: Grontmij Nederland.

Habiforum (2004), *Denken over de toekomst van wijken*. Rijswijk: Quantas.

KPMG/Grontmij (2001), *Grondwateroverlast in het stedelijk gebied*. Den Haag: uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA).

Laan, D. van der, A. Koerts (2004), “Ruimte voor regen; gescheiden waterafvoer steeds harder nodig.” *Vastgoed* 79 (6), p. 44-45.

Lingsma, J.S. (1970), *Reshaping Holland*, Rotterdam/Den Haag: Nijgh en Van Ditmar.

NHV (2002), *Hydrologische woordenlijst*, Utrecht: Nederlandse Hydrologische Vereniging.

Pater, F. de (2004), Water, mens en landschap: eeuwenlang een gevaarlijk samenspel. In: Roos, R., Woudenberg, S., Dorren, G., Brunner, E., Hollander, R. den (red.) *Opgewarmd Nederland*. Utrecht: Uitgeverij Jan van Arkel, p. 111-117.



Reed Business Information (2004), *Gebouwschade buiten; taxatieboekje 2005*. Doetinchem: Reed Business Information.

Reed Business Information (2004), *Gebouwschade binnen; taxatieboekje 2005*. Doetinchem: Reed Business Information.

RIONED (2005), *Riool in cijfers 2005-2006*. Ede: Stichting Rioned.

ROB (2004), *A Pilot Study on the Monitoring of the Physical Quality of Three Archaeological Sites at the UNESCO World heritage Site at Schokland, Province of Flevoland, the Netherlands*. Amersfoort: Rijksdienst voor Oudheidkundig Bodemonderzoek.

RWS/RIZA (2000), *Stedelijke grondwater in een ander daglicht; kansen van een actief grondwaterbeheer*. Lelystad: RIZA/NVA /Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat.

SHR (2000), *Bacteriële aantasting van houten paalfunderingen. Literatuurstudie en inventarisatie van de Nederlandse situatie*. Wageningen: Stichting Hout Research.

SBR (1998), *Leidraad voor het onderzoek naar de invloed van een grondwaterstandsval op de bebouwing*. Rotterdam: Stichting Bouwresearch.

SBR (1986), *Te hoog grondwater in de bebouwde omgeving. Oorzaken, gevolgen en mogelijke maatregelen*. Rotterdam: Stichting Bouwresearch.

Tammes, E., B.H. Vos (1980), *Warmte- en vochttransport in bouwconstructies*. Deventer: Kluwer Technische Boeken.

Ven, G.P. van de (red.) (2004), *Man-made lowlands*. Utrecht: Uitgeverij Matrijs.

Voogd, H (2001), *Facetten van de planologie*. Alphen aan den Rijn: Kluwer.

Vries, J.J. de (1980), *Inleiding tot de hydrologie van Nederland*. Amsterdam: Editions Rodopi.

VROM (2000), *Aantasting houten paalfunderingen van woningen*. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Wendt, T., R. Dubbeldam, J. van 't Klooster (2004), "Technische uitwerking van een GGOR voor stedelijk gebied." *H2O* 37 (25/26), p. 39-42.



Interviews

Gemeente Dordrecht (2005), interview met dhr. R. Weeda, afdeling Beleid en Beheer, Dordrecht (op 28-11-2005).

Gemeente Dordrecht¹ (2005), interview met dhr. A. Mollema, afdeling Stadsontwikkeling, Dordrecht op 29-11-2005).

Gemeente Dordrecht¹ (2006), interview met dhr. P. Baas en dhr. A. van den Berg, afdeling Belastingen, Dordrecht (op 19-01-2006)

dS+V (2006), Dienst Stedenbouw en Volkshuisvesting, Gemeente Rotterdam, interview met dhr. J.S. Bosch, Rotterdam (op 20-01-2006).

TNO (2006), Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, Bouw en Ondergrond, interview met dhr. C.J.J. Castenmiller, Delft (op 17-01-2006).

Ooms (2006), Ooms Makelaars en Financieel adviseurs, interview met mevr. E. van der Vlugt, Dordrecht (op 17-02-2006).

DWR (2005), Dienst Waterbeheer en Riolering (DWR) (thans Waternet), interview met dhr. E. Jacobs en mevr. H. Cusell, Amsterdam (op 05-12-2005).



