

TER
IN ZAGE

Grondwateroverlast in het stedelijk gebied van Westervoort

rapport van de studiegroep
wateroverlast Westervoort



provincie
GELDERLAND

20a

GRONDWATEROVERLAST
IN HET STEDELIJK GEBIED
VAN WESTERVOORT

Rapport van de Studiegroep
Wateroverlast Westervoort

Uitgave:

Provincie Gelderland
Dienst Milieu en Water

Arnhem, december 1987

INHOUD

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	blz.
1 INLEIDING	1
1.1 Probleemschets	1
1.2 Doel en opzet van het onderzoek	2
2 GEBIEDSBESCHRIJVING	4
2.1 Nieuwbouw in Westervoort	4
2.2 Bodemopbouw	8
2.3 Geohydrologie	10
2.4 Waterhuishouding	11
3 GRONDWATERSTROMING IN HET STEDELIJK GEBIED	15
3.1 Waterbalans	15
3.2 Drainagetheorie	19
3.3 Toepassing in Westervoort	25
4 GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK	27
4.1 Meetprogramma en -resultaten	27
4.2 Analyse en interpretatie	32
4.2.1 Algemeen	32
4.2.2 Ondiepe peilfilters	32
4.2.3 Diepe peilfilters	33
4.2.4 Optimalisatie van het meetnet	37
4.3 Interpretatie van de klachten	44
5 MODELBEREKENINGEN	45
5.1 Opzet GELGOM/OPPEIL	45
5.2 Modelschematisatie	46
5.3 Berekening gemiddelde situatie	47
5.4 Berekening effecten van neerslag	48
5.5 Berekening effecten van hoogwatersituatie	49
5.6 Berekening effecten van waterhuishoudkundige maatregelen	50
5.7 Conclusies modelberekening GELGOM/OPPEIL	51

Overzicht van figuren, tabellen en bijlagen

Literatuurlijst

Bijlagen (deze zijn opgenomen in een aparte band)

Colofon

Grondwateroverlast in het stedelijk gebied van Westervoort

Op initiatief van de gemeente Westervoort is naar aanleiding van klachten over wateroverlast in december 1983 de Studiegroep Wateroverlast Westervoort ingesteld.

De studiegroep, samengesteld uit vertegenwoordigers van de gemeente Westervoort, het polderdistrict Rijn en IJssel en de provincie Gelderland, kreeg als taakstelling de problematiek te analyseren en technische oplossingen aan te dragen.

De studiegroep was als volgt samengesteld:

ing. J.P. van de Rest (voorzitter)	: polderdistrict Rijn en IJssel
ing. M.V. Keijzer (secretaris)	: polderdistrict Rijn en IJssel
ing. H.A. Gosselink	: polderdistrict Rijn en IJssel
ing. A.N. Hageman	: gemeente Westervoort
ing. K.W. Noorlander	: gemeente Westervoort
ing. Th.H. Grintjes (tot 1 mei 1984)	: gemeente Westervoort
dr.ir. Th.J. van de Nes	: provincie Gelderland
ing. H.F.J. Kempen (sinds 1 okt.'86)	: provincie Gelderland
ing. G. Boot (sinds 1 febr.'87)	: provincie Gelderland

De taakverdeling binnen de studiegroep was als volgt.

De verzameling van gegevens is door het polderdistrict Rijn en IJssel en de gemeente Westervoort uitgevoerd, terwijl de provincie Gelderland de verwerking van de gegevens en de rapportage op zich heeft genomen.

Het eindrapport is vastgesteld in de vergadering van de studiegroep op 27 oktober 1987.

Redactie

ing. G. Boot, ing. H.F.J. Kempen en dr.ir. Th.J. van de Nes

Tekeningen

tekenkamer, dienst Milieu en Water

Type- en drukwerk

afdeling Tekstverwerking, provincie Gelderland

Uitgave

dienst Milieu en Water, provincie Gelderland

Studiegroep Wateroverlast Westervoort (1987)
Besprekingsverslagen, januari 1984 t/m april 1987
Herwen/Westervoort

Waterstaatskaart (1973)
Arnhem 40W, 1:50.000

Wesseling, J. (1969)
Bergingsfactor en drainagecriterium
Mededeling 118
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen

code: 1/ez/221V
16.10.87

CONCLUSIES

- 1 Sinds de midden zestiger jaren zijn er rond de oude dorpskern van de gemeente Westervoort vele nieuwbouwwijken opgezet. Er treedt hier al sinds jaren op vele lokaties wateroverlast op, die zich manifesteert als water in de tuin, in de kelder, in de kruipruimte en als optrekkend vocht, vooral in de wijken waar de huizen gefundeerd zijn op palen. Klachten van bewoners over wateroverlast zijn geïnventariseerd en in het onderhavige onderzoek getoetst aan metingen.
- 2 Het hydrologisch onderzoek is gebaseerd op een waarnemingsperiode van bijna $2\frac{1}{2}$ jaar, waarin de opzet van een meetnet met ca. 50 meetlokaties van essentieel belang is geweest voor het vastleggen van een aantal hydrologische gebeurtenissen. Ondanks leemtes in tijd en plaats is aan de hand van de ca. 1800 peilbuiswaarnemingen, 900 neerslagcijfers en 900 rivierpeilen een redelijk goed beeld ontwikkeld van de reacties van het geohydrologisch systeem.
- 3 De grondwaterstanden in Westervoort worden sterk beïnvloed door de rivierstanden op de IJssel. Bij hoge rivierstanden is de kwel(druk) in het gebied veel groter dan in eerder wetenschappelijk onderzoek is vastgesteld. De daarop gebaseerde berekeningen wijken dan ook af van de metingen. Bij lage rivierstanden wordt een duidelijk drainerende invloed van de IJssel geconstateerd.
- 4 De grondwaterstand wordt ook sterk beïnvloed door de neerslag die flinke stagnatie ondervindt in de bovengrond van de onverharde oppervlakken. Veelal in combinatie met hoge rivierstanden geeft dit aanleiding tot wateroverlast.
- 5 Het bemalen van de Pleijpolder met een maximum capaciteit van $26.000 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$ tot een niveau van NAP+ 10.00 m heeft een duidelijke reductie van de kwel(druk) in het stedelijk gebied van Westervoort tot gevolg. Deze waterhuishoudkundige maatregel op zich is echter onvoldoende om de wateroverlast op te heffen vanwege de resterende kwel(druk) en/of de eventuele neerslag.
- 6 De aanleg van drainagesystemen kan de wateroverlast meestentijds opheffen, dan wel zeer sterk beperken. Uit de gehanteerde drainagecriteria in de wijk Leigraaf van 7 mm/etmaal bij een ontwateringsdiepte van 0,70 m-mv blijkt theoretisch, dat deze grondwaterstand nog slechts gemiddeld 1 x per jaar wordt bereikt of overschreden. Dit criterium houdt tevens in, dat gemiddeld 1 x per 10 jaar de kruipruimtes (op ca. 0.50 m-mv) onder water kunnen staan. Het is echter een beleidsmatige keuze, welke herhalingsstijd van overschrijding van deze grondwaterstand dient te worden geaccepteerd.
Het aangelegde drainagesysteem in Leigraaf blijkt goed te werken.

- 7 De drainafstand, en daarmee de kosten van het systeem, zijn sterk afhankelijk van de diepte waarop gedraineerd wordt en het doorlaatvermogen van de bovengrond c.q. ophoogmateriaal. In Leigraaf heeft dit geleid tot drainafstanden van 10 à 15 m. In veel andere wijken is ophoogmateriaal van andere kwaliteit toegepast. Bij de aanleg van een drainagesysteem zal dit resulteren in afwijkende drainafstanden en daarbij behorende kosten.
- 8 Voor gedraineerde wijken is nog onvoldoende bekend welk onderhoudsregiem voor het systeem moet worden aangehouden. Daarvoor is het van belang, dat een minimaal meetnet is opgezet en wordt onderhouden ten dienste van het bewerken van de grondwaterstanden en het optimaal functioneren van de drainagesystemen mede uit economische overwegingen. Het huidige meetnet van een vijftigtal meetlokaties is met behulp van correlatieberekeningen tot een minimum van tien waar te nemen grondwaterstandsbuizen gereduceerd.
- 9 Uit modelberekeningen is gebleken dat de effecten van hoge rivierstanden zijn te compenseren door het plaatsen van diepwellpompen in de wijken met wateroverlast. Het gevaar van ongelijke zettingen van op staal gefundeerde bebouwing is echter gelet op het bodemprofiel dermate groot dat deze mogelijkheid moet worden afgeraden.
- 10 De toepassingen van een tweetal rekenmodellen, GELGOM en OPPEIL voor het simuleren van grondwaterstanden, heeft in enkele extreme stationaire situaties een goede indicatie gegeven van de knelpunten van de waterhuishouding in het stedelijk gebied van Westervoort.
- 11 Gelet op het ontbreken van klachten in de oude kern van Westervoort, de grondwaterstanden gedurende de waarnemingsperiode, het bodemprofiel en de afwezigheid van open water is het denkbaar dat in de oude kern toch op enigerlei wijze drainage plaatsvindt. Mogelijk hebben de met zand gedempte sloten nog een afvoerende werking, maar ook de aanwezigheid van een lek, dus drainerend, rioleringsstelsel moet hierbij niet worden uitgesloten. Dit is niet nader onderzocht.

AANBEVELINGEN

- 1 Voortzetting van de bemaling van de Pleijpolder is voorwaarde om de kwel(druk) in het stedelijk gebied van Westervoort te reduceren. Als streefpeil in de Pleijpolder wordt NAP+ 9.75 à 10.00 m geadviseerd. Nevenvoordeel bij deze waterhuishoudkundige maatregel is, dat langer landbouwkundig gebruik gemaakt kan worden van de gronden in de Pleij.
- 2 Gezien de goede resultaten in de wijk Leigraaf verdient het aanbeveling ook voor andere bestaande en toekomstige wijken drainageplannen op te stellen. Hiervoor komen in aanmerking de wijken Mosterdhof, Emmerik, Struikendoorn en Broeklanden.
- 3 Bij realisering van nieuwe uitbreidingsplannen dient de nodige aandacht besteed te worden aan de kwaliteit van het ophoogmateriaal, daar dit direct consequenties heeft voor de drainage-dichtheid en de daarmee verbonden kosten.
- 4 Bij de aanleg van de drainage dient gelet te worden op het doorlaatvermogen van het ophoogmateriaal, hetgeen nieuwe doorlatendheidsmetingen noodzakelijk maakt. Tevens is het van belang de drains zo mogelijk in de zandtussenlaag te leggen of in ieder geval verbinding daarmee te forceren door middel van drainsleuven; dit vereist nauwgezet toezicht. Tenslotte mag in geen geval de tweede weerstandsbiedende klei/veenlaag worden doorsneden om extra kwel tegen te gaan.
- 5 In verband met het goed laten functioneren van de drainagesystemen dient gestreefd te worden naar een minimale drooglegging van + 1.40 m-m.v. in het afwateringssysteem. Met name in perioden met hoge neerslagintensiteit en/of hoge IJsselstanden is dit van essentieel belang.
- 6 Het verdient aanbeveling het ontworpen minimale grondwaterstandsmeetnet met betrekking tot de diepe peilfilters in stand te houden en met een frequentie van 2 x per maand waar te nemen. Dit is ook van toepassing op de nieuw in te richten meetpunten in raai I, totdat deze waarnemingen met nader onderzoek aan het minimale meetnet kunnen worden gerelateerd. De overige afgeleide meetpunten dienen ter verificatie van de opgestelde wiskundige relatie 4 x per jaar te worden waargenomen. Ondiepe peilfilters kunnen vervallen.

- 7 Gezien de gevoeligheid voor wateroverlast in de diverse wijken van de gemeente Westervoort is frequent onderhoud van de drainagesystemen en het meetnet van het grootste belang. Om het onderhoudsregiem en de effecten daarvan te bepalen dient de aanbevolen waarnemingsfrequentie van de grondwaterstandsmeetnet te worden aangehouden, ook indien zich op het moment geen klachten voordoen.

1.1 Probleemschets

De laatste jaren ervaart men steeds meer problemen met hoge grondwaterstanden in stedelijke gebieden, zowel in oudere wijken als in nieuwbouwwijken. De gevolgen van deze wateroverlast zijn vaak direct waarneembaar in kelders en kruipruimten, waardoor aanwezige apparatuur en leidingen worden aangetast. Echter ook op langere termijn kan schade optreden door vochtoverlast in de hele woning (houtrot, aantasting van behang en stuclagen e.d.); de gezondheid van de bewoners heeft eronder te lijden. Problemen zijn ernstiger naarmate de bouwkwaliteit slechter is. Tuinen en plantsoenen kunnen onbruikbaar worden, terwijl gemeenten en nutsbedrijven ook risico lopen schade te ondervinden bij straten en leidingen.

Deze problematiek heeft de aandacht van de provincie Gelderland gekregen in het Grondwaterplan 1987-1995 (provincie Gelderland, 1986). In het kader hiervan diende de volgende taakstelling te worden uitgevoerd:

"De provincie zal binnen de planperiode onderzoek verrichten naar het verloop van grondwaterstanden in het stedelijk gebied. Daarbij zal bijzondere aandacht worden besteed aan de gescheiden verantwoordelijkheden van gemeenten en waterschappen op het gebied van respectievelijk het bouwrijp maken en het bewoonbaar houden (ten aanzien van welstandseisen en bouwvoorschriften). Dit betreft met name wateroverlast in de stedelijke gebieden langs de rand van de Veluwe en langs de grote rivieren".

Deze taakstelling heeft geleid tot het inventariseren van locaties met grondwateroverlast in bebouwd gebied in de provincie Gelderland waarvan de verzamelde gegevens met betrekking tot de technische en organisatorisch-bestuurlijke aspecten nog dit jaar zullen worden gepubliceerd.

In Westervoort treedt al sinds jaren overlast op, die zich manifesteert als water in de tuin, in de kelder, in de kruipruimte en als optrekkend vocht, vooral in de wijken waar de huizen gefundeerd zijn op palen. Wie voor deze problemen aansprakelijk is, is wettelijk niet vastgelegd. De Grondwaterwet (1981) heeft weliswaar tot doel het bevorderen van een goed beheer van het grondwater, maar is niet van toepassing op "het onttrekken van grondwater bij ontwatering* of afwatering** van gronden".

* ontwatering: afvoer van water uit percelen over en door de grond en eventueel door drainbuizen en greppels naar een stelsel van grotere waterlopen.

** afwatering: afvoer van water via een stelsel van open waterlopen naar een lozingspunt van het afwateringsgebied.

Dat betekent dus dat de Grondwaterwet geen zorgplicht bevat voor een bepaald overheidslichaam tot het handhaven van een bepaald grondwaterpeil. Dat gemeente en waterschap zich als lokale overheden wel verantwoordelijk voelen, blijkt uit de oprichting van de "Studiegroep wateroverlast Westervoort", waarin de Dienst Milieu en Water van de provincie Gelderland is betrokken als technisch adviseur voor de problemen met wateroverlast.

Grondwateroverlast is in het algemeen het gevolg van een wisselwerking van oorzaken; één hoofdoorzaak is vaak moeilijk vast te stellen. Dat is ook het geval in Westervoort.

De wateroverlast vindt plaats bij veel neerslag, hoge rivierstanden en bij een combinatie van beide. Mogelijk wordt aanvoer naar het grondwater in onvoldoende mate opgevangen door ontwateringsmiddelen. Voorts is het denkbaar dat bij het bouwrijp maken de invloed van het ophoogmateriaal op de doorlatendheid van de bovengrond en de mate van ophoging ten opzichte van de voorkomende grondwaterstanden is onderschat.

Andere mogelijke oorzaken kunnen hier zo goed als zeker worden uitgesloten, zoals bodemdaling (door grondwaterstandsverlaging of ophoging van het terrein), het reduceren van grondwateronttrekkingen door industrieën, of het wegvallen van de oneigenlijk drainerende werking van riolering na renovatie.

Klachten van bewoners over wateroverlast in de kruipruimten zijn uit verschillende wijken afkomstig: Mosterdhof, Struikendoorn, Vredenburg, Emmerik, Broeklanden en Leigraaf. Daarbij kwam nog de constatering door nutsbedrijf Gamog, dat gasleidingen in een groot aantal woningen waren aangetast en derhalve moesten worden afgekeurd. De spontane klachten naar de gemeente toe zijn geïnventariseerd en in kaart gebracht in bijlage 1.1 en hebben betrekking op de periode t/m 1984.

1.2 Doel en opzet van het onderzoek

In januari 1984 is de Studiegroep Wateroverlast Westervoort, bestaande uit vertegenwoordigers van de Gemeente Westervoort, het polderdistrict Rijn en IJssel en de provincie Gelderland, van start gegaan. Deze heeft zich tot doel gesteld de oorzaken te onderzoeken van en oplossingen aan te dragen voor de wateroverlast, die optreedt in nieuwbouwwijken van Westervoort.

Daartoe is de studiegroep in het eerste jaar frequent bijeengekomen en heeft in eerste instantie voor enkele knelpunten een aantal waterhuishoudkundige maatregelen voorgesteld en laten uitvoeren. In tweede instantie is ten behoeve van het verifiëren van een uit te voeren modelonderzoek een uitgebreid peilbuizen-net geïnstalleerd alsmede een regenmeter, omdat gedetailleerde gegevens niet beschikbaar waren.

Nadat voldoende gegevens verzameld waren, zijn deze verwerkt om ten slotte aanbevelingen te kunnen doen ter voorkoming van wateroverlast in de hele gemeente Westervoort.

Het doel van deze rapportage is de verschillende aspecten van de wateroverlast in Westervoort te inventariseren en te analyseren en te komen tot het aangeven van de oorzaken en het aandragen van oplossingen. Tevens zullen normen voor ontwatering en afwatering, die elders in den lande zijn toegepast, ook in Westervoort aan de orde worden gesteld ten behoeve van het bepalen van de juiste draindiepte en drainafstand. Tenslotte zal een suggestie gedaan worden om het meetnet zodanig uit te dunnen, dat met een minimum aan peilbuizen een optimale bewaking van de stijghoogte mogelijk blijft.

De organisatie van het onderzoek is zodanig opgezet, dat de inrichting van het peilbuizennet, de metingen, en het aandragen van basisgegevens in onderling overleg is verzorgd door gemeente en polderdistrict. De provincie heeft de onderzoek-werkzaamheden begeleid, en heeft zorggedragen voor de verwerking van de resultaten en de uiteindelijke rapportage.

Het rapport is als volgt opgebouwd.

De aspecten, die van belang zijn bij de stedelijke uitbreidingen van Westervoort, zijn onderwerp in hoofdstuk 2, waarin tevens de bodemopbouw en de geohydrologische en waterhuishoudkundige toestand van het onderzoeksgebied wordt besproken.

In hoofdstuk 3 wordt in een algemene beschouwing over het grondwaterstromingsproces aandacht besteed aan de verschillende factoren die de waterbalans van stedelijke gebieden beïnvloeden. In hoeverre de stationaire en niet-stationaire drainagecriteria ten behoeve van het ontwerp van een drainageplan met elkaar overeenkomen en kunnen worden toegepast in de situatie van Westervoort wordt in het zelfde hoofdstuk aan de orde gesteld.

Het geohydrologisch onderzoek wordt toegelicht in hoofdstuk 4; de meetresultaten worden geanalyseerd en geïnterpreteerd aan de hand van grafieken, profielen en figuren, die als bijlagen zijn opgenomen.

Om een aantal effecten door te rekenen van niet direct in de werkelijkheid te meten situaties is een berekening gemaakt met behulp van het computermodel GELGOM. Deze worden behandeld in hoofdstuk 5. De resultaten van de modelberekening worden gepresenteerd in de vorm van plots*, die zijn opgenomen als bijlagen.

Tenslotte worden op basis van dit onderzoek conclusies getrokken ten aanzien van het ingerichte meetnet, de modelberekening, de waterhuishoudkundige maatregelen en andere bevindingen.

In dit vaktechnische rapport worden verscheidene keren vaktermen gebruikt; deze zullen zo veel mogelijk in voetnoten worden verklaard, onder andere volgens de definities die de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO in de Verklarende hydrologische woordenlijst hiervoor geeft (gespreksgroep Hydrologische Terminologie, 1986).

* plot: een m.b.v. de computer vervaardigde tekening

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

2.1 Nieuwbouw in Westervoort

Vanaf midden zestiger jaren heeft de gemeente Westervoort een sterke groei doorgemaakt met een sterke oriëntatie op het nabijgelegen Arnhem. In snel tempo zijn er rond de oude dorpskern nieuwbouwwijken opgezet, die voor het merendeel uit laagbouw met tuin bestaan. Deze ontwikkeling wordt geïllustreerd door de respectievelijke topografische kaarten van de jaren 1964, 1969, 1974 en 1985 (2x), die verkleind zijn afgebeeld en bewerkt in figuur 2.1. Per kaart is aangegeven welke uitbreiding tot stand is gekomen in de voorbije periode. De uitbreidingswijken zijn genummerd; de respectievelijke namen zijn in tabel 2.1 vermeld.

Geen enkel terrein is zonder meer geschikt voor bebouwing. Eerst dienen de gronden bouwrijp gemaakt te worden, waarbij in het kader van deze rapportage gedacht moet worden aan:

- egaliseren en ophogen
- ontwatering/grondwaterstandsregulatie
- afwatering/berging

De gemeente Westervoort heeft het bouwrijp maken in de bouwverordening als volgt omschreven:

"Artikel 1.3 Onder bouwrijp bouwterrein wordt in deze overeenkomst verstaan een terrein:

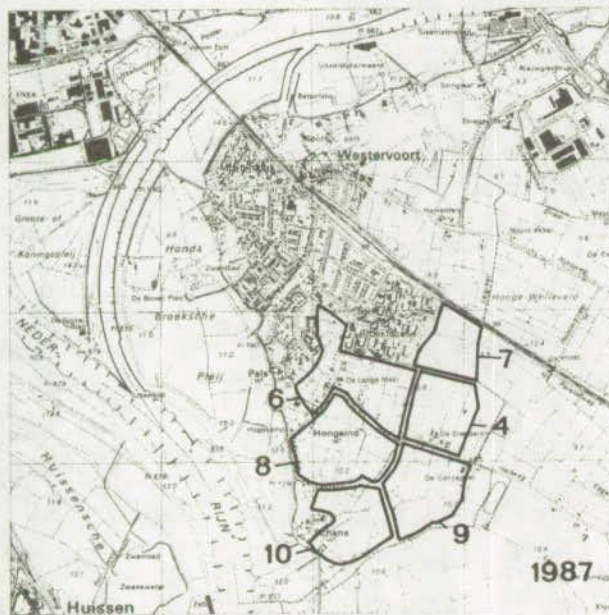
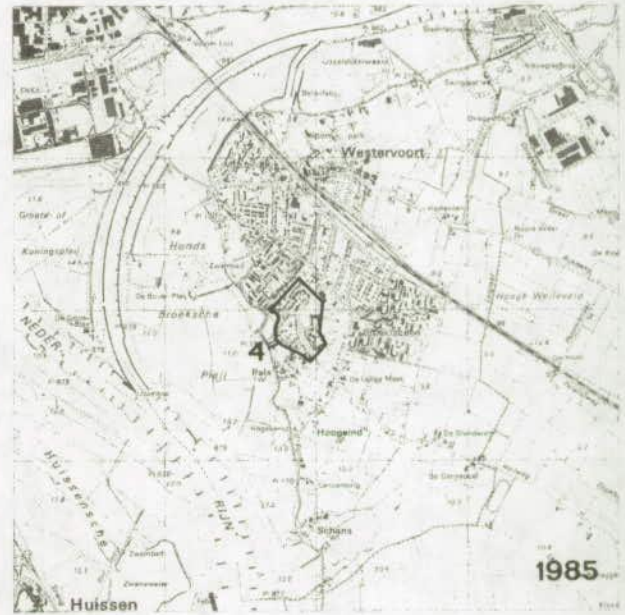
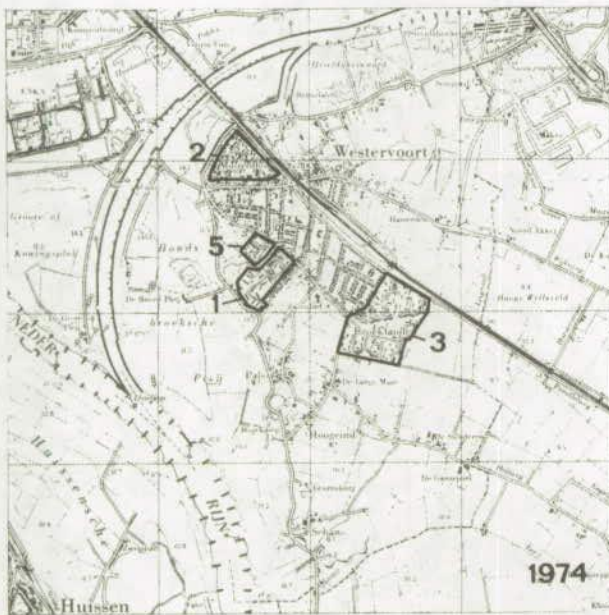
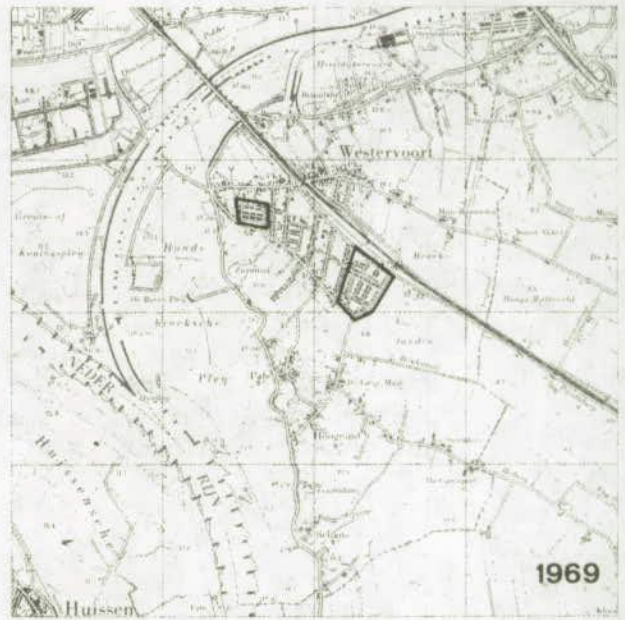
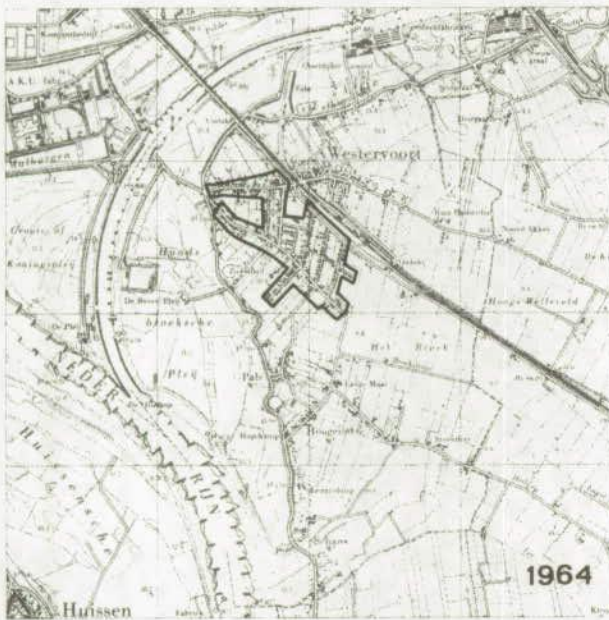
- vrij van leidingen en obstakels, opgehoogd en geëgaliseerd;
- voor bouwverkeer toegankelijk en voorzien van bouwstraten;
- met zo kort mogelijke aansluitmogelijkheden op gemeentelijke riolering met dien verstande dat de aansluitkosten van de riolering vanaf het aansluitpunt tot aan/in de op te richten bebouwing voor rekening van koper zijn.

Voormelde voorzieningen zullen gereed zijn bij de feitelijke levering van het gekochte.

Artikel 1.4 De gemeente zal zorgdragen voor de woonrijpe oplevering van het gekochte, waaronder wordt verstaan:

- het aanleggen van openbare wegen, voetpaden, fietspaden, parkeergelegenheden, trottoirs, pleinen, waterpartijen, watergangen, bruggen en andere met de aanleg van deze voorzieningen verband houdende werken;
- het aanleggen van plantsoenen en andere groenvoorzieningen alsmede de inrichting van openbare speelplaatsen;
- het aanleggen van straatverlichting en bluswatervoorzieningen."

Om een overzicht te krijgen hoe een en ander in de verschillende uitbreidingsplannen is gerealiseerd is tabel 2.1 samengesteld. In deze tabel zijn de diverse uitbreidingsplannen in chronologische volgorde vermeld. Per uitbreidingsplan zijn een aantal aspecten van het bouwrijp maken vermeld die betrekking hebben op het onderhavige onderzoek.



Figuur 2.1

Uitbreidingsplannen van Westervoort
in volgorde van ontwikkeling

Tabel 2.1 Aspecten met betrekking tot bouwrijp maken van respectievelijke uitbreidingsplannen van de gemeente Westervoort.

chronologische volgorde	uitbreidings- plan	aanvang bouwrijp maken	mv hoogte voor bouw- rijp maken	(m NAP+) na bouw- rijp maken	wijze van aanvoer ophoog- materiaal	ophoog- materi- aal 1)	singel- peil (m NAP+)	gemiddelde droogleg- ging* (m)	drainage + aanleg	stedelijke inrichting (%)		
										bebouwd	asfalt	groen
0	Oude kern	--	--	10.20	--	--	--	--	-	20	0	20
1	Vredenburg	1971	10.46	10.80	per as	a + b	8.70	2.10	+	20	0	30
2	Mosterdhof	1972	10.15	10.80	per as	b	8.80	2.00	-	20	0	20
3	Broeklanden	1974	9.65	10.30	opgespoten	b	8.70	1.60	-	20	10	10
4	Emmerik	1976	10.30	10.55	per as	b	8.70	1.85	-	20	0	30
5	de Weem	1976	10.50	10.70	per as	a + b	9.20	1.50	-	20	0	20
6	Lange Maat	1980	9.90	10.30	per as	a + b	8.70	1.60	-	20	5	20
7	Leigraaf	1981	9.60	10.30	per as	b	8.70	1.60	+	20	0	20
8	Hoogeind	1982	10.30	10.50	per as	a	8.70	1.60	+	20	0	20
9	Ganzepeel I	1983	ca. 10.30	10.30	per as	a	8.70	1.60	+	20	0	20
10	Ganzepeel II	1984	ca. 10.10	10.30	per as	a	8.70	1.60	+	20	0	20
11	Steenderens	1985	ca. 10.10	10.30	per as	a	8.70	1.60	+	20	0	20

1)
a: uitkomende grond
b: ophoogzand

* drooglegging: het hoogteverschil tussen de waterspiegel
in een waterloop en het maaiveld.

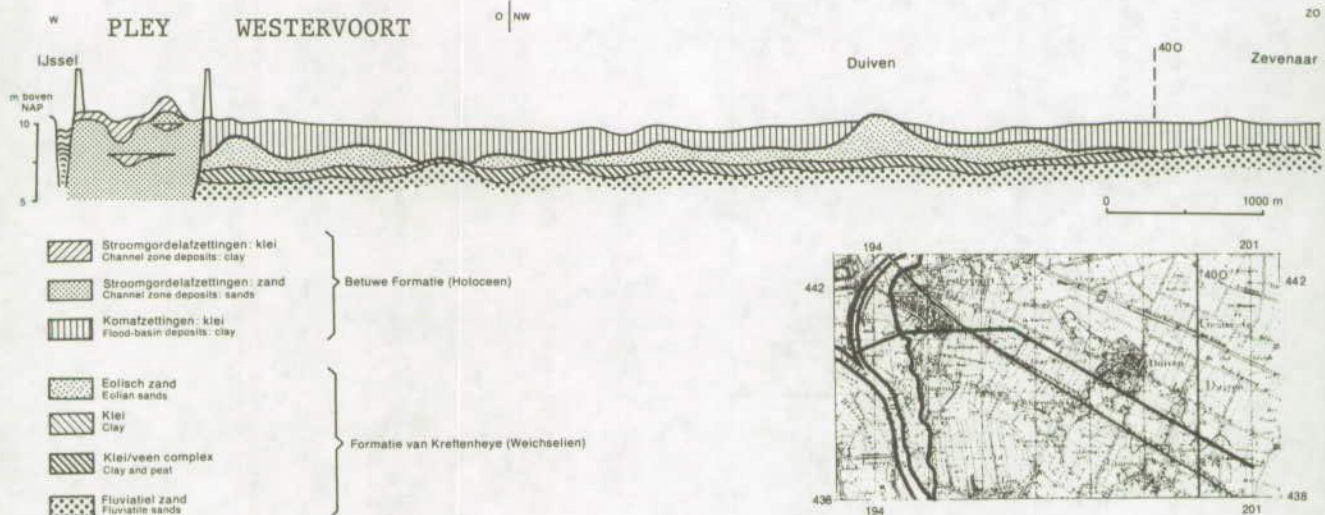
2.2 Bodemopbouw

Regionaal

De bodemopbouw in Westervoort heeft hetzelfde karakter als de regio Rivierengebied. De beschrijving wordt geïllustreerd door figuur 2.2 (Stiboka, 1977).

Gedurende het Weichselien, de laatste ijstijd in het Pleistoceen, werd een dik pakket grove rivierzanden afgezet. (Formatie van Kreftenheye). Plaatselijk komen in dit pakket klei- of leemlagen voor. Naarmate het klimaat in het laat-glaciaal verbeterde, de zeespiegel rees en het vegetatiedek dichter werd, voerden de rivieren minder sedimenten af, waarbij ze zich in hun eigen afzettingen begonnen in te snijden. Bij overstromingen werd op de grove zanden geleidelijk een dunne kleilaag gesedimenteerd.

Aan het begin van het Holoceen was het rivierengebied een golvend zandlandschap. In de komvormige laaggelegen terreingedeelten ontstond veen en werd klei afgezet (komklei). In een later stadium trad een duidelijke differentiatie op in oeverwallen en kommen. Door het meanderen* van de rivier komen ook oeverwallen op de vroeger gevormde komklei voor en omgekeerd. Dit complex van een slecht doorlatende deklaag van enkele meters dik behoort tot de Betuwe Formatie. De opbouw is vanwege de variërende sedimentatie weinig uniform.



Figuur 2.2 Profiel door het gebied van de westelijke Liemers (Stiboka, 1977).

* meanderen: slingerend verloop van een rivier door het landschap in een enkele rivierbedding.

Er zijn enkele opmerkingen te plaatsen bij het profiel door het onderhavige gebied (figuur 2.2).

De rivier de IJssel heeft zich ingesneden in de eigen zandige afzetting van de stroomgordel (zie tekst bij figuur) die weer in contact staat met het fluviatiele* en het eolische** zand. Dit is van groot belang voor optredende kwel.

Het "tussenzand" ontbreekt plaatselijk bij Westervoort en duikt in Duiven weer op. Dit laatste is een deel van een begraven stuwwal behorend tot de Formatie van Drente die onder de bebouwde kom van Duiven doorloopt in zuidwestelijke richting en aansluit op de stuwwal van Nijmegen (Aelmans, 1981).

Lokaal

In figuur 2.2 zijn duidelijk de lokale bodemprofielen te herkennen. De eigenschappen van de opeenvolgende lagen in het studiegebied zullen hieronder kort de revue passeren (Grontmij, 1971).

Bedekkende klei

De dikte varieert van ca. 4 m in de Mosterdhof tot ca. 1 m in het centrum van het gebied en bestaat uit zware zavel tot lichte klei. De doorlatendheid is geschat en gemeten en ligt tussen 0.05 en 0.50 md^{-1} .

Tussenzand

Deze laag bestaat uit min of meer lemig zand met een korrelgrootte-mediaan*** van 200 à 300 μm . De dikte varieert veelal van 0.50 tot 1.80 m. De doorlaatfactor ligt tussen 2 en 10 md^{-1} , hetgeen als tamelijk goed doorlatend kan worden beschouwd.

Diepe klei/veen

De dikte van dit soms gelaagde pakket is ca. 0.70 m in de zuidelijke helft en wigt uit naar ongeveer 0 m in het noordelijke deel. De doorlaatfactor is nagenoeg altijd zeer gering (0.001 md^{-1}).

Basiszand

De korrelgrootte-mediaan varieert van 200 tot 480 μm , dat is matig grof zand. Dieper basiszand vertoont een zeer goede doorlatendheid van 20 tot 50 md^{-1} , dat zich voortzet tot 10 à 20 m -mv.

* fluviatiel: door rivier afgezet

** eolisch: door de wind afgezet.

*** korrelgrootte-mediaan: diameter van het zand, waarboven en waar beneden 50% van het gewicht van de zandfractie ligt.

2.3 Geohydrologie

Voor het berekenen van optredende grondwaterstroming is het van belang een goed inzicht te hebben in de geohydrologische opbouw van het probleemgebied. Uit de geïnventariseerde gegevens met betrekking tot de bodemopbouw en grondwaterhuishouding in Westervoort is het volgende geohydrologische beeld te schetsen (Aelmans, 1981 en Grontmij 1971, 1978, 1983).

De hydraulische eigenschappen van de ondergrond kunnen kwantitatief worden aangeduid met behulp van geohydrologische parameters. De belangrijkste hiervan zijn het doorlaatvermogen* (kD-waarde), de bergingscoëfficiënt (S-waarde) van de watervoerende pakketten en de verticale weerstand (c-waarde) van de slecht waterdoorlatende lagen.

Over het hele gebied komt een slecht doorlatende deklaag voor van één tot enkele meters dik. De opbouw is als gevolg van de variërende sedimentatie weinig uniform. De bovenlaag is vaak licht van samenstelling; daaronder komt zwaardere klei voor. De verticale hydraulische weerstand (c) van de kleilaag (dikte (D)) en verticale doorlatendheid (k) varieert binnendijks van 2 tot 10 dagen en in de uiterwaarden van 10 tot 16 dagen.

Onder dit kleipakket bevindt zich een zandtussenlaag, het eerste watervoerend pakket, met lokale verspreiding. Op basis van de dikte (D) van deze laag en de doorlatendheid (k) wordt het doorlaatvermogen (kD) beoordeeld op 1 tot 15 m^2d^{-1} . Deze zandtussenlaag is relatief goed waterdoorlatend en daardoor erg geschikt om drainage in aan te leggen.

Vervolgens komt in praktisch heel Westervoort een lichte kleilaag voor die geschat wordt op een c-waarde van 10 à 150 dagen. Ter hoogte van de uiterwaarden richting IJssel neemt de dikte af of ontbreekt zelfs. Daar wordt voor de weerstand dan ook 60 dagen aangehouden.

Ten slotte bevindt zich een tweede watervoerend pakket onder eerdergenoemde lagen, dat zich regionaal uitstrekt in het Rivierengebied als fluviatiele afzettingen.

Het watervoerend vermogen (kD) is uit literatuur afgeleid en wordt gesteld op 800 m^2d^{-1} . Het pakket bestaat uit soms grindig matig grof tot zeer grof zand afgewisseld door plaatselijk voorkomende glaciale afzettingen (keileem), die de goede doorlatendheid belemmeren.

* doorlaatvermogen: maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten.

Het tweede watervoerende pakket wordt aan de onderzijde begrensd door kleiïge afzettingen, behorend tot de Formatie van Drente. In het kader van de uit te voeren berekeningen worden deze afzettingen als hydrologische basis beschouwd.

Hoe de lokale geohydrologische situatie zich verhoudt tot het regionale beeld is verduidelijkt in bijlage 2.1. Daaruit blijkt dat de eerste drie onderscheiden lagen tot één pakket worden samengevat. Tevens valt op dat de IJssel niet insnijdt in het eerste watervoerend pakket (op regionale schaal). Bij de geohydrologische schematisatie zal worden uitgegaan van contact met het watervoerend pakket.

2.4 Waterhuishouding

Technische aspecten

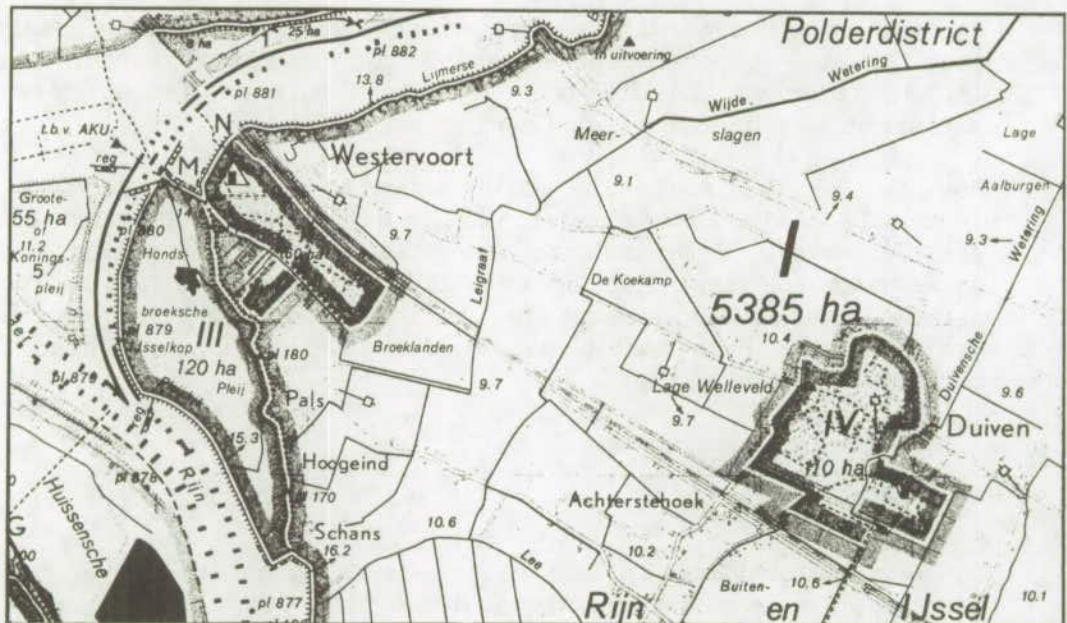
De waterhuishouding in het waterbeheersingsgebied "De Liemers", waartoe de gemeente Westervoort behoort, wordt verzorgd door het polderdistrict Rijn en IJssel. Afwatering van het binnendijkse deel vindt plaats via de Westervoortse Leigraaf en de Wijde Wetering. Bij hoge rivierstanden wordt het overtollige water bij Giesbeek op de IJssel gepompt. De infrastructuur van de A- en B- watergangen* anno 1973 is aangegeven op een uitsnede van de Waterstaatskaart in figuur 2.3. Het is de situatie voordat Westervoort zuidoost- waarts tot sterke uitbreiding overging.

Een andere afwateringseenheid** is de Hondsbroeksche Pleij, westelijk van Westervoort. De Pleijpolder (120 ha) is in 1984 voorzien van een gemaaltje, waarmee bij hoge IJsselstanden water kan worden uitgemalen naar de IJssel. De capaciteit bedraagt 1050 m³ per uur bij een opvoerhoogte van 3.55 m. Dat komt overeen met een waterschijf van 21 mm d⁻¹.

* A-watergangen: watergangen van overwegend belang voor de waterbeheersing, onderhouden door het waterschap

B-watergangen: watergangen van belang voor de waterbeheersing, welke onderhouden moeten worden door de aanliggende eigenaren onder toezicht van het waterschap

** afwateringseenheid: gebied waaruit het water wordt afgevoerd.



Figuur 2.3 Afwateringssituatie van de gemeente Westervoort voor de uitbreidingen (uitsnede Waterstaatskaart, 1973).

Voordat de uitbreidingsplannen van Westervoort gerealiseerd werden, vond de (detail)afwatering van het voormalig agrarische gebied plaats via een dicht stelsel van greppels en kavelsloten. Een maat voor de dichtheid is de zogenaamde slootdichtheid, een term die afkomstig is uit de cultuurtechniek. De slootdichtheid is de verhouding van de som van de lengte van alle waterlopen en de betreffende oppervlakte. Deze bedraagt voor het gebied dat begrensd wordt door de bandijk, de spoorlijn en de gemeentegrens ongeveer 10 km km^{-2} . Dat is te vergelijken met een gemiddelde slootafstand van 100 m. Hierin zijn geen greppels e.d. betrokken. Figuur 2.4 illustreert deze situatie, waarin de (detail)afwatering is geaccentueerd.



Figuur 2.4
Waterlopenstelsel van een
deelgebied van de gemeente
Westervoort met slootdicht-
heid van 10 km km^{-2} (1964).



Figuur 2.5
Infrastructuur van de afwa-
tering van een deelgebied
van de gemeente Westervoort
met een slootdichtheid van
 4 km km^{-2} (1987)

Ter vervanging van de A- en B-watergangen zijn singelpartijen aangelegd die de hoofdafwatering van het bebouwde gebied vormen. De slootdichtheid voor de huidige verstedelijkte situatie bedraagt ongeveer 4 km km^{-2} , dat komt overeen met een gemiddelde slootafstand van 250 m. In deze typering zijn geen stedelijke drains verdiskonteerd. De afname ten opzichte van de onbebouwde situatie is duidelijk waar te nemen in figuur 2.5.

Bestuurlijke organisatorische aspecten

Bij het realiseren van bestemmingsplannen heeft een gemeente te maken met provinciale plannen ten aanzien van het grondwater en het oppervlaktewater, zowel kwantitatief als kwalitatief en met waterschappen en zuiveringsschappen. Gezien de overlappende beheersgebieden is hierbij vooral de relatie tussen gemeenten en waterschappen van belang. Een gemeente moet vergunning hebben van een waterschap voor de afvoer van het water uit een deel van de stad en voor het dempen van bestaande en graven van nieuwe watergangen. Anderzijds heeft een waterschap voor de bouw van eenemaal een bouwvergunning nodig.

Het Besluit op de Ruimtelijke Ordening zegt over de samenwerking tussen gemeente en waterschap: "bij de voorbereiding van een structuurplan of een bestemmingsplan plegen burgemeester en wethouders overleg met de besturen van de gemeenten die aan het in het plan begrepen gebied grenzen, met de betrokken diensten van Rijk en provincie, alsmede met daarvoor naar hun mening in aanmerking komende waterschapsbesturen".

Het is van belang dat waterschappen en gemeenten goed op elkaar zijn afgestemd qua taken en visies. Wederzijdse duidelijkheid en een goede overlegsituatie zijn essentieel. Een gezamenlijke aanpak kan gestalte krijgen via een zogenaamd "nat structuurplan", dat door gemeente en waterschap gezamenlijk moet worden opgesteld (Segeren et al, 1984).

3 GRONDWATERSTROMING IN STEDELIJK GEBIED

Bij onderzoek naar oorzaken van grondwateroverlast in stedelijke gebieden is het van belang de principes van de stroming van grondwater te beschrijven om meer inzicht in de beweging van het water te verschaffen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de factoren die de waterbalans van stedelijke gebieden beïnvloeden. Vervolgens wordt beschreven welke drainage-criteria voor het opstellen van een drainageplan worden gehanteerd en hoe deze op de Westervoortse situatie kunnen worden toegepast.

3.1 Waterbalans

Voor het opstellen van een waterbalans schematiseren we een kolom grond in een stedelijke situatie. De balansvergelijking ziet er als volgt uit:

$$\text{inkomend water} = \text{uitgaand water} + \text{bergingsverandering}$$

$$P + T + K = E + R + U + I + Q + B$$

waarin:

P = neerslag

T = grondwaterstroming uit naastgelegen gebied

K = kwel

E = evapotranspiratie

R = oppervlakte-afstroming

U = grondwaterstroming naar naastgelegen gebied

I = infiltratie

Q = afvoer met ontwaterings-/afwateringsmiddel (drain, sloot, riool)

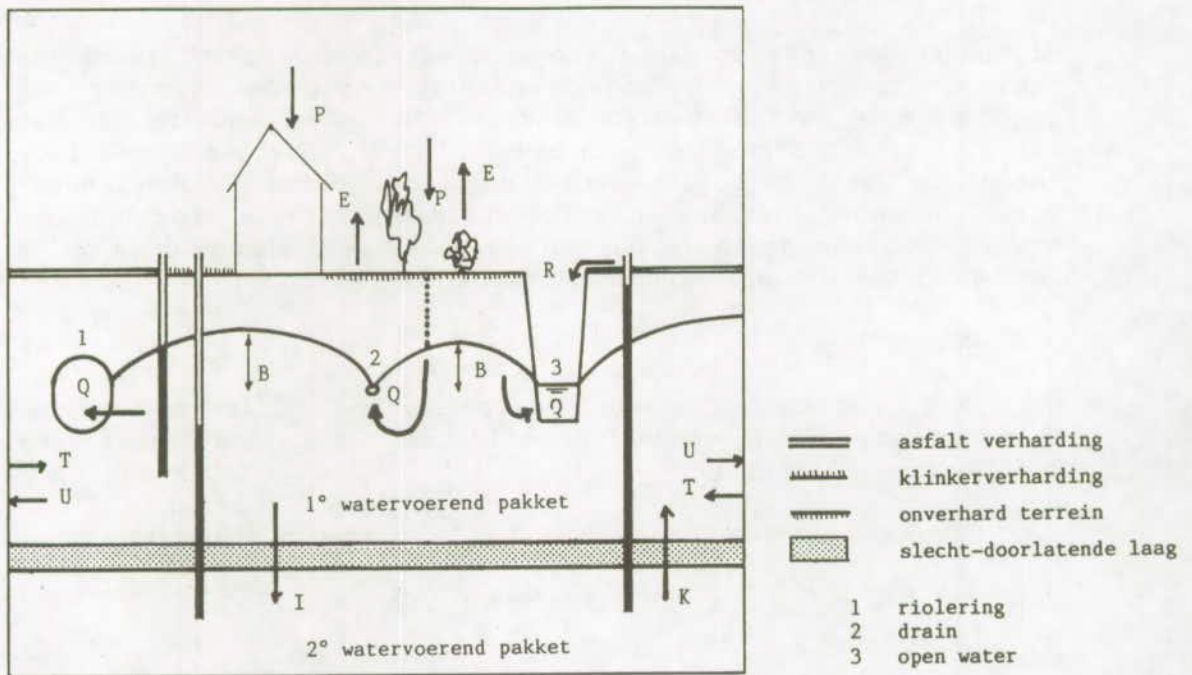
B = bergingsverandering (= grondwaterstandsfluctuatie)

In figuur 3.1 zijn de verschillende factoren in een stedelijk dwarsprofiel ingetekend.

Problemen met een hoge grondwaterstand ontstaan als de toename van de berging te groot wordt. Dit is te voorkomen door zo mogelijk:

- a de term inkomend water te verkleinen
- b de term uitgaand water te vergroten
- c de gevolgen van toename van de berging te verminderen.

Achtereenvolgens zullen de van invloed zijnde factoren worden toegelicht.



Figuur 3.1 Grondwaterstroming in stedelijk gebied (naar Borremans et al., 1984).

ad a inkomend water

Neerslag (P) is een in ruimte en tijd variërend verschijnsel. In Nederland valt afhankelijk van de plaats, gemiddeld tussen de 700 en 800 mm neerslag per jaar. Per dag treden vaak grote verschillen in hoeveelheden op. Daarom wordt voor de afvoer van de in werkelijkheid gevallen neerslag een maatgevende neerslag (= ontwerpafvoer*) gekozen. Afhankelijk van de te stellen eisen en de situatie wordt voor de ontwerpafvoer 5 tot 10 mm d⁻¹ aangehouden.

Toevoer van neerslag naar het grondwater wordt kleiner naarmate het verhard oppervlak groter is; er kan dan minder water infiltreren. Dit water zal afstromen over het oppervlak naar rioleering en/of open watergangen. De bergingscapaciteit** van het open water zal dan echter moeten toenemen.

* ontwerpafvoer: de afvoer die bepalend is gesteld voor het ontwerp van een afvoerstelsel.

** bergingscapaciteit: het volume water dat geborgen kan worden tussen het streefpeil en het aanvaardbaar hoogste peil.

Grondwaterstroming (T) uit naastgelegen gebieden is het geval als het beschouwde stedelijk gebied lager is gelegen dan zijn omgeving.

Deze aanvoer is te ondervangen door het aanbrengen van een interceptieleiding (vangdrain, greppel). In de praktijk is dit veelal niet gemakkelijk te realiseren.

Kwel (K) treedt op indien er water uit het eerste watervoerend pakket naar het ondiepe grondwater toestroomt via een enigszins doorlatende laag met een bepaalde hydraulische weerstand onder invloed van grotere stijghoogten buiten het beschouwde gebied. De stijghoogte in het diepere pakket wordt veelal veroorzaakt door oppervlaktewater met een hoog peil dat in verbinding staat met het watervoerend pakket. De kwelintensiteit wordt bepaald door het stijghoogteverschil tussen de watervoerende pakketten en de verticale (hydraulische) weerstand* van de scheidende laag en de horizontale afstand tot het buitenwater.

Het verminderen van de kwel kan plaatsvinden door wateronttrekking uit het spanningswater of het bemalen van het buitenwater, kortom, het verlagen van het potentiaalverschil. Bovendien dient de weerstandbiedende laag in stand gehouden te worden om lekken tegen te gaan; fundering op palen, waarbij de weerstandbiedende laag wordt doorboord, bevordert dus in dit geval kwel.

ad b uitgaand water

De evapotranspiratie (E) wordt gevormd door de verdamping van natte oppervlakken en van vegetatie. De verdamping is afhankelijk van klimaatsfactoren, het soort oppervlak (begroeiing of verharding) en de ligging van het oppervlak.

Beïnvloeding van de term uitgaand water via de evapotranspiratie is feitelijk alleen mogelijk door het aanpassen van de beplanting of van het verharden van grotere oppervlakten, want water onder een verharding kan nauwelijks verdampen. Het effect van deze maatregelen is 's winters echter nihil en dat is juist wanneer de grondwaterstanden veelal hoger zijn.

De oppervlakte-afstroming (R) bestaat uit de neerslag die over het grondoppervlak naar open watergangen worden afgevoerd. Afhankelijk van neerslagintensiteit, bodemreliëf en bodemgesteldheid vindt deze afstroming plaats.

In Nederland infiltreert de neerslag die op een onverhard oppervlak valt, in het algemeen geheel in de grond en percoleert voor een deel naar het grondwater. Het overige deel draagt bij aan de verhoging van het vochtgehalte van onverzadigde bovengrond. De neerslag op een verhard oppervlak (bebouwing en bestrating) waaruit stedelijk gebied voor belangrijk deel bestaat, stroomt grotendeels over die verharding naar straatkolken en andere afvoerpunten.

* verticale weerstand: weerstand die een bepaalde laag biedt tegen een verticale grondwaterstroming.

Er kan nog onderscheid gemaakt worden in ondoorlatende verharding (asfalt en daken met rioolafvoer) die de neerslag volledig afvoert naar de riolering en halfdoorlatende verharding (klinkers, tegels) waarover een deel van de neerslag eveneens afstroomt en waarin een ander niet onaanzienlijk deel infiltreert naar het grondwater.

De aanvoer naar het grondwater kan worden verminderd door meer (ondoorlatende) verharding aan te brengen, maar dit stuit vaak op planologische bezwaren. Bovendien wordt het rioolstelsel extra belast met als gevolg een grotere capaciteitsbehoefte voor de zuiveringsinstallatie en/of kwaliteitsverlies van het oppervlaktewater bij overstort op open water in stedelijk gebied.

Grondwaterstroming (U) naar naastgelegen gebieden doet zich meestal voor als in de omgeving ontwateringsmiddelen aanwezig zijn, die de grondwaterstand ter plaatse verlagen, of als het maaiveld in de omgeving lager ligt. Beïnvloeding hiervan is geen reële mogelijkheid om grondwaterstanden te regelen.

Infiltratie (I) of wegzijging is het geval, wanneer er water van het ondiep grondwater naar het onderliggende watervoerende pakket wegstroomt via een enigszins weerstandbiedende laag. Deze stroming kan worden versterkt door het aanbrengen van verticale drainage. Dat kan alleen worden toegepast als de stijghoogte in het watervoerend pakket lager is dan de freatische grondwaterspiegel.

De afvoer (Q) d.m.v. een ontwaterings- of afwateringsmiddel is de belangrijkste term in de waterbalans voor de beheersing van de grondwaterstand. Grondwater stroomt ten gevolge van een potentiaalgradiënt, waarbij de doorlatendheid mede de stroomsnelheid bepaalt volgens de wet van Darcy:

$$v = - k \cdot i$$

waarin:

v = stroomsnelheid (md^{-1})

k = doorlatendheid van de bodem (md^{-1})

H

$i = \frac{H}{L} = \text{verhang } (-)$

L

H = verschil in stijghoogte (m)

L = afstand waarover het grondwater stroomt (m)

ad c bergingsverandering

De bergingsverandering (B) is de verandering van het volume water dat aanwezig is in een bepaald deel van de grond direct boven de grondwaterspiegel, zodat gesproken kan worden van een fluctuatie van de grondwaterspiegel. De mate van stijging (en daling) hangt af van het actuele vochtgehalte (zie (R)) en de porositeit van de onverzadigde zone.

Deze twee factoren bepalen de bergingscoëfficiënt* (μ) van de grond, die varieert van 0.02 (voor ondoorlatende klei) tot 0.10 (voor doorlatend zand). Dat betekent, dat b.v. bij $\mu = 0.05$ een stijging van de grondwaterspiegel optreedt van 100 mm als er 5 mm neerslag is gevallen.

De mate van bergingsverandering kan beïnvloed worden door de kwaliteit van het ophoogmateriaal bij het bouwrijp maken van terreinen. Kortom, in zand treedt door de hoge bergingscoëfficiënt weinig stijging van de grondwaterstand op, in klei daarentegen veel.

3.2 Drainagetheorie

De afvoer van grondwater is een niet-stationair proces ten gevolge van de dagelijks wisselende neerslag en verdamping. Drainagevergelijkingen geven beschrijvingen van grondwaterstromingsproblemen, waarbij draindiepte en -afstand gerelateerd worden aan de afvoer en de hoogte van de grondwaterspiegel. Dit zogenaamde drainagecriterium bestaat in stationaire drainageformules uit een maatgevende afvoer en een maatgevende opbolling** van de grondwaterspiegel boven drainniveau. In de niet-stationaire formules bestaat het drainagesysteem uit een ontwateringsdiepte en de frequentie waarmee deze mag worden overschreden.

Stationair

De meeste in de praktijk gebruikte drainagevergelijkingen zijn stationaire vergelijkingen. Dit hangt samen met de gecompliceerde aard van de niet-stationaire oplossingen en het tamelijk stationaire karakter van de grondwaterstroming, vooral in de winter. In stationaire situaties is de afvoer gelijk aan de neerslag.

* bergingscoëfficiënt: de verhouding van de hoeveelheid neerslag (mm) en de daarvan het gevolg zijnde stijging van de grondwaterspiegel (mm).

** opbolling: maximale hoogteverschil tussen de waterstand in de ontwateringsmiddelen en de grondwaterstand daartussen in een afvoersituatie.

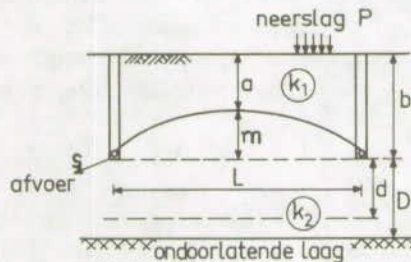
De te gebruiken normen zijn voornamelijk empirisch ingesteld. Dit heeft als bezwaar dat in andere situaties dan die, waarvoor de normen zijn vastgesteld, deze normen niet zonder meer toepasbaar zijn. Daarnaast is bij toepassing van het stationair drainagecriterium weinig te zeggen over de werkelijk optredende grondwaterstand omdat deze in belangrijke mate wordt bepaald door de neerslagintensiteit en de berging in de grond.

Een veel toegepaste vergelijking voor de berekening van de drainafstand is de drainageformule van Hooghoudt (figuur 3.2):

$$s = \frac{8 K_2 d m_o + 4 K_1 m_o^2}{L^2}$$

waarin:

- s = afgevoerde waterschijf (= neerslag P) (md^{-1})
- K_2 = doorlatendheid onder de drains (md^{-1})
- K_1 = doorlatendheid boven de drains (md^{-1})
- L = drainafstand (m)
- m_o = opbolling van het grondwater midden tussen de drains (m)
- d = dikte van de equivalentlaag (m) als functie van de diepte (D) van de ondoorlatende laag, de drainafstand (L) en de straal van de drain (r_o).



Figuur 3.2 Drainagesysteem met factoren uit de drainageformule van Hooghoudt.

Niet-stationair

Met niet-stationaire drainageformules kan men de werkelijk optredende grondwaterstanden en afvoeren berekenen voor elk vooraf gekozen neerslagpatroon voor elk willekeurig drainagesysteem. Dit is mogelijk door bijvoorbeeld een norm te stellen voor een ontwateringsdiepte* die x-maal per jaar mag worden overschreden. In de formules zijn zowel de neerslag (P) als de berging (B) verwerkt. De Jager (1965) heeft met behulp van deze factoren een frequentieanalyse uitgevoerd over 50 winterperioden (1 oktober - 31 maart) van 1913 tot 1963, waaruit de verwachtingswaarde van de berekende afvoeren en grondwaterstanden volgde. Voor de analyse van het neerslag-afvoerproces is de formule van de reservoircoëfficiënt** van belang:

$$j = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{\mu L^2}{k d}$$

waarin:

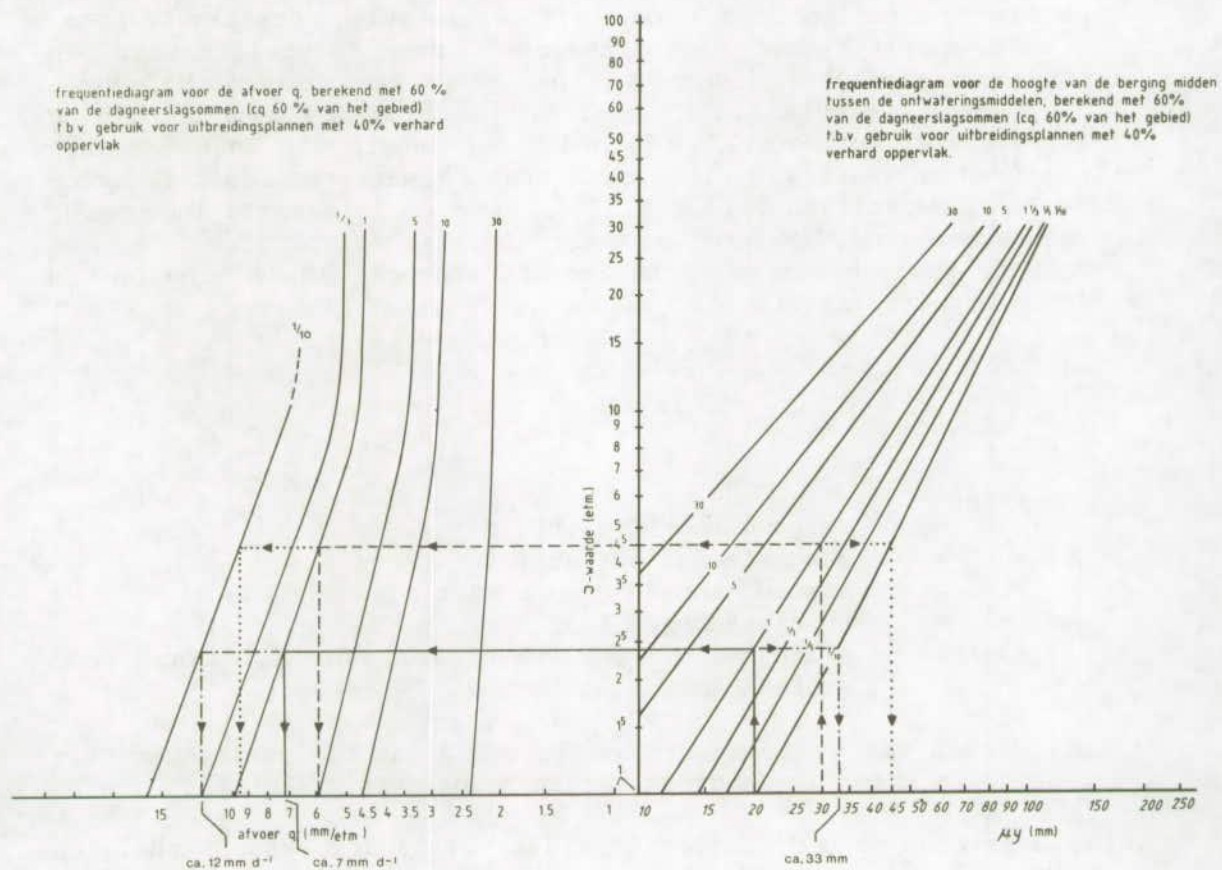
j	=	reservoircoëfficiënt (d)
μ	=	bergingscoëfficiënt (-)
L	=	afstand tussen de ontwateringsmiddelen (m)
k	=	doorlatendheid (md^{-1})
d	=	dikte van de equivalentlaag van het doorstroomd profiel (m)

Met behulp van de reservoircoëfficiënt j kan het neerslagafvoergedrag van water in de grond worden beschreven.

Deze methode is door Zeilmaker (1971) uitgewerkt voor stedelijke gebieden met een verhardingspercentage van 40%. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 3.3.

* Ontwateringsdiepte: afstand tussen het maaiveld en de hoogste grondwaterstand tussen de ontwateringsmiddelen.

** Reservoircoëfficiënt: maat voor berging in de bodem;
j groot: grondwaterstand reageert traag
j klein: grondwaterstand reageert snel



Figuur 3.3 Frequentiediagram van Zeilmaker; aangevuld met de curve voor de afvoer met een frequentie van 1x per 10 jaar.

Met dit diagram kan de onderschrijdingsfrequentie van de ontwateringsdiepte en de overschrijdingsfrequentie van de afvoer worden bepaald indien de j -waarde als systeemconstante en de bergingscoëfficiënt μ bekend zijn.

De toepassing van de grafiek (figuur 3.3) op het probleem van het drainagecriterium in stedelijke gebieden zal worden verduidelijkt met een voorbeeld. Segeren et al (1984) reikt daartoe in tabel 3.1 de normen aan voor zowel stationaire als niet-stationaire drainageberekeningen.

Tabel 3.1. De drainagecriteria voor de verschillende activiteiten en bestemmingen in een stedelijk gebied (Segeren et al, 1984).

Activiteit/bestemming	Stationaire drainage-berekening	
	Drooglegging (m beneden m.v.)	Afvoer (mm/etm)
I. tijdens de bouwfase		
- aanleg van bouwwerken	0,60-0,70	
- aanleg van PTT-kabels	0,50-0,60	
laagspanningskabels	0,60	
gasleidingen	0,65-1,00	
hoogspanningskabels	0,90	
rioleringsbuizen	1,00-3,50	
- aanleg van primaire wegen	1,00	
secundaire wegen	0,70	
pleinen, parkeerterreinen	0,40	
- begaanbaarheid	0,50-0,70	
Samenvattend: tijdens de bouwfase	0,70-0,80	10
II. de woonfase		
- bouwwerken	0,70	
- kabels en leidingen	0,60-1,00	
- primaire wegen	1,00	
- secundaire wegen	0,70	
- industriegebieden, centrumgebieden	0,70	
Samenvattend: de woonfase	0,70	5 mm/etm
Tuinen, plantsoenen, parken	0,50	7
Kampeerterreinen [5-10]	0,50	10
Begraafplaatsen [5-10]	0,30 beneden onderkant kist	10
Sportvelden [5-10]	0,50	15
Niet-stationaire drainageberekening	0,70 drooglegging met overschrijdings- frequentie 1 x per jaar	

- 1 Op grond van stedenbouwkundige overwegingen wordt dus aangenomen dat 1x per jaar een ontwateringsdiepte van 0.70 m mag worden bereikt of onderschreden.
- 2 Uit de draindiepte (bv. 1.30 m - m.v.) en de bergingscoëfficiënt van de grond (bv. $\mu = 0.05$) is de waarde van de bijbehorende μy te berekenen ($y = 1.30 - 0.70 = 0.60$ m dus $\mu y = 0.05 \times 600 = 30$ mm).
- 3 Om deze situatie te realiseren is een bepaalde j-waarde nodig die uit het rechterdeel van figuur 2.3 op de verticale as is af te lezen ($j = 4.6$ d).
- 4 Het drainagesysteem is vastgelegd nu de j-waarde bekend is, zodat men in het linker deel van de figuur de te verwachten afvoeren kan aflezen ($s = 6$ mm d⁻¹).

Ter beoordeling van het gestelde criterium kan worden nagegaan welke grondwaterstand bijvoorbeeld 1x per 10 jaar wordt bereikt of overschreden ($\mu_y = 45 \text{ mm}$ dus de grondwaterstand is dan $0.40 \text{ m} - \text{mv}$). De afvoer die gemiddeld 1x per 10 jaar wordt overschreden is feitelijk niet berekend, maar is door extrapolatie te schatten op ca. 9 mm d^{-1} (zie figuur 3.3). Bij onderzoeken in Lelystad (Segeren et al, 1984) is gebleken dat een afvoer van 5 mm d^{-1} zelden wordt overschreden. De omstandigheden in de meetgebieden in Lelystad zijn evenwel niet zonder meer vergelijkbaar met die in Westervoort. Er is daar sprake van zandophoging, goed ontwaterde meetgebieden en geen of weinig kwel. Een aantal jaren geleden werd voor de ontwatering van terreinen in de woonfase hetzelfde ontwateringscriterium gehanteerd als tijdens de bouw, nl. 10 mm d^{-1} .

Stationair - niet-stationair

Legt men een verband tussen het stationaire ontwerpcriterium (Hooghoudt) en de niet-stationaire karakterisering (j-waarde) van het ontwateringssysteem dan vindt men:

$$\frac{s}{m} = \frac{8 \mu}{\pi^2 j} \quad (\text{Van de Nes, 1966 en Wesseling, 1969})$$

Hiermee is na te gaan of het stationair ontwerpcriterium s/m overeenkomt met de via het frequentiediagram voor stedelijke gebieden verkregen waarden van s/m .

Hiertoe bepalen we voor een afvoer van 6 mm d^{-1} bij een grondwaterstand van $0.70 \text{ m} - \text{mv}$ de overschrijding van de grondwaterstand voor enkele in het diagram voorkomende frequenties. Bij een al eerder vermelde gemiddelde draindiepte van 1.30 m krijgen we de in tabel 3.2 weergegeven overschrijdingen.

Tabel 3.2. Grondwaterstanden (m) boven drainniveau voor een afvoer van 6 mm d^{-1} bij een ontwateringsdiepte van $0.70 \text{ m} - \text{mv}$ en een draindiepte van $1.30 \text{ m} - \text{mv}$.

μ	frequenties (aantal overschrijdingen per jaar)		
	1	1/5	1/10
0.02	1.50	1.95	2.25
0.05	0.60	0.78	0.90
0.10	0.30	0.39	0.45

Uit de tabel blijkt dat voor kleigrond met een bergingscoëfficiënt van 0.05 ongeveer 1 x per jaar de grondwaterstand op 0.70 m - mv (= 1.30 - 0.60) wordt bereikt of overschreden en dat 1 x per 10 jaar het water tot 0.40 m - mv (= 1.30 - 0.90) stijgt, zodat kruipruimtes 0.10 m (= 0.50-0.40) onder water staan.

Tot hier toe is een draindiepte van 1.30 m toegepast. Worden de drains nog dieper gelegd, dan leidt dat tot minder strenge ontwerpcriteria, want de bergingsmogelijkheid in het profiel neemt toe, zodat de kans op hogere grondwaterstanden kleiner wordt. Een kleine rekenexercitie kan de gevoeligheid van het gehanteerde ontwerp criterium voor de afvoerintensiteit en de bergingsmogelijkheid toetsen. Daarvoor is in tabel 3.3 voor verschillende draindiepten de s/m-waarde volgens het ontwerp criterium berekend naast die, welke uit het frequentiediagram is bepaald. De ontwateringsnorm van eenmaal per jaar een overschrijding van de waterstand van 0.70 m - mv blijft gelden, evenals de bergingscoëfficiënt van 0.05.

Tabel 3.3 Waarden voor s/m in stationaire en in niet-stationaire berekeningen bij verschillende draindiepten.

Draindiepte (m)	m (= y) (mm)	s/m (stat.) (d ⁻¹)	μy (mm)	j (d)	s (mmd ⁻¹)	s/m (niet-stat.) (d ⁻¹)
0.90	200	0.025	10	1	10	0.05
1.10	400	0.013	20	2.5	7.1	0.018
1.30	600	0.008	30	4.6	6	0.010
1.50	800	0.006	40	7	5	0.006

De s/m waarden komen bij de in deze tabel weergegeven grotere draindiepten steeds beter overeen. Maar een kleine bergingsmogelijkheid in het profiel, dat wil zeggen bij kleine draindiepte, wordt niet gecompenseerd door geringere afvoerintensiteiten. Het ontwerp criterium houdt dus onvoldoende rekening met de draindiepte, althans bij een gemiddelde bergingscoëfficiënt van 0.05.

3.3 Toepassing in Westervoort

In Leigraaf is voor de gemiddelde drainafstand 10 à 15 m aangehouden, terwijl de gemiddelde draindiepte c.a. 0.95 m bedraagt. Het huidige drainagesysteem in Leigraaf is bepalend voor de reservoircoëfficiënt j. Bij een normstelling van 1x per jaar en een overschrijding van de grondwaterstand van 0.70 m-mv en een schatting van $\mu = 0.08$ voor het zandige ophoogmateriaal is door middel van het frequentiediagram (figuur 3.3) de j-waarde = 2.4 d te bepalen.

Bij een μ_y -waarde = 20 mm hoort een afvoer van ca 7 mm d^{-1} .
Hieruit volgt voor s/m in de niet-stationaire berekening een
waarde van $\frac{7}{250} = 0.028$.

Deze uit de grafiek (figuur 3.3) verkregen waarde blijkt goed
overeen te komen met de waarde die wordt verkregen als men de
niet-stationaire formule toepast:

$$\frac{s}{m} = \frac{8 \mu}{\pi^2 j} = \frac{8 \times 0.08}{3.14^2 \times 2.4} = 0.027$$

Het niet-stationair drainagecriterium komt overeen met het sta-
tionair drainagecriterium: $s/m = 7/250 = 0.028$.

Het stationair drainagecriterium met maatgevende afvoer
= 7 mm d^{-1} en een maatgevende opbolling = 0.25 m komt overeen
met het niet-stationaire drainagecriterium hetgeen bestaat uit
een ontwateringsdiepte van 0.70 m-mv met een onderschrijding van
1x per jaar. Wordt de lijn in figuur 3.3 doorgetrokken naar een
overschrijdingsfrequentie van 1 x per 10 jaar, dan blijkt
 $y=33$ mm te zijn bij een afvoer van 12 mm d^{-1} . Dat betekent dat
gemiddeld 1 x per 10 jaar als gevolg van neerslag een grond-
waterstand van 0.55 m-mv wordt bereikt of overschreden, zodat
kruipruimtes juist nat kunnen worden.

De formule van Hooghoudt laat zien dat bij een K_d -waarde van ca.
0.5 $m^2 d^{-1}$ in Leigraaf inderdaad een drainafstand wordt
gevonden van

$$L^2 = \frac{8K_d}{s/m} = \frac{8 \times 0.5}{0.0275} = 145, \text{ dus } L = 12 \text{ m.}$$

In de overige wijken met een andere kwaliteit ophoogmateriaal
zullen afwijkende drainafstanden berekend worden, uitgaande van
een zelfde draindiepte.

4 GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK

Eén van de eerste constateringën van de studiegroep was het gebrek aan gegevens met betrekking tot de geohydrologische situatie in Westervoort. Het opzetten van een meetnet werd noodzakelijk geacht, alsmede studie naar de samenhang tussen de verzamelde gegevens. In dit hoofdstuk wordt het meetprogramma toegelicht, waarna een analyse en interpretatie van de resultaten volgt.

4.1 Meetprogramma en -resultaten

Ten behoeve van het onderzoek zijn de volgende basisgegevens verzameld en verwerkt:

Neerslag

In eerste instantie is de neerslag gemeten met een speciaal voor dit onderzoek geïnstalleerde regenmeter van het KNMI. Deze is opgesteld op de gemeentewerf in Westervoort en is afgelezen door personeel van de gemeente. De meetperiode hiervan ligt met kleine onderbrekingen van oktober 1984 t/m november 1986. Daarna zijn de metingen gestaakt.

Vergelijking met neerslagcijfers van het KNMI-station in het nabijgelegen Duiven maakte duidelijk dat nagenoeg dezelfde waarden werden gemeten. De neerslaghoeveelheden zijn bij het KNMI-station echter in tegenstelling tot het tijdelijk ingerichte station in Westervoort ook in de weekeinden dagelijks afgelezen. Daarom werd besloten de neerslagcijfers van meteostation Duiven als uitgangspunt voor dit onderzoek te nemen en de waarnemingen van de regenmeter in Westervoort te laten beëindigen. De dagsommen over de periode oktober 1984 t/m februari 1987 zijn weergegeven in bijlage 4.1.

Evapotranspiratie

Het achterhalen van verdampingsgegevens per dag is moeilijker omdat slechts een klein aantal KNMI-meteostations hiertoe is ingericht. Voor het onderhavige onderzoek is gebruik gemaakt van de decadecijfers die door het KNMI voor de stations Winterswijk en Andelst worden bepaald. Het verloop van de verdamping per dekade is weergegeven in bijlage 4.1 over de periode oktober 1984 t/m februari 1987. Hiervan is het gemiddelde bepaald en gecorrigeerd voor de potentiële verdamping met een seizoensafhankelijke factor volgens $E_{p.o.t} = f \times E_o$ (waarin $f = 0.8$ voor mei t/m augustus; $f = 0.7$ voor maart, april, september, oktober; $f = 0.6$ voor november t/m februari). Vervolgens zijn dagsommen berekend voor de evapotranspiratie.

Rivierpeilen

Dagelijks worden door Rijkswaterstaat de waterhoogten van de rivieren geregistreerd. De voor de Provincie Gelderland relevante rivierpeilen worden door de Dienst Milieu en Water in een databestand opgeslagen. Voor meetstation IJsselkop zijn de rivierpeilen voor de betreffende meetperiode uit dit bestand gelicht en grafisch weergegeven in bijlage 4.2.

Om een rivier te karakteriseren zijn veeljarige gemiddelden van waterstanden minder geschikt vanwege veranderingen van de rivierbedding. Daarom is het gebruik van veeljarige gemiddelden van afvoeren voor analyse van lange perioden een beter hulpmiddel (RWS, 1985). De bij bepaalde afvoeren behorende waterstanden bij afvoermeetstations zijn af te lezen van de betreffende afvoerkromme. Met behulp van zogenaamde betrekkinglijnen, zijn uit de waterstanden van een afvoermeetstation de overeenstemmende waterstanden van een ander meetstation af te lezen.

Bovengenoemde gegevens van optredende waterhoogten bij Westervoort zijn bepaald met behulp van de betrekkinglijn van Lobith ten opzichte van IJsselkop (1972.0), de afvoerkromme van de Rijn bij Lobith en de overschrijdingslijnen van de afvoeren te Lobith (periode 1911-1960) (RWS, 1985).

In tabel 4.1 zijn voor een aantal frequenties de bijbehorende optredende extreme rivierpeilen te IJsselkop vermeld.

Tabel 4.1 Overschrijdingsfrequentie en gemiddelde overschrijdingsduur van waterstanden te IJsselkop

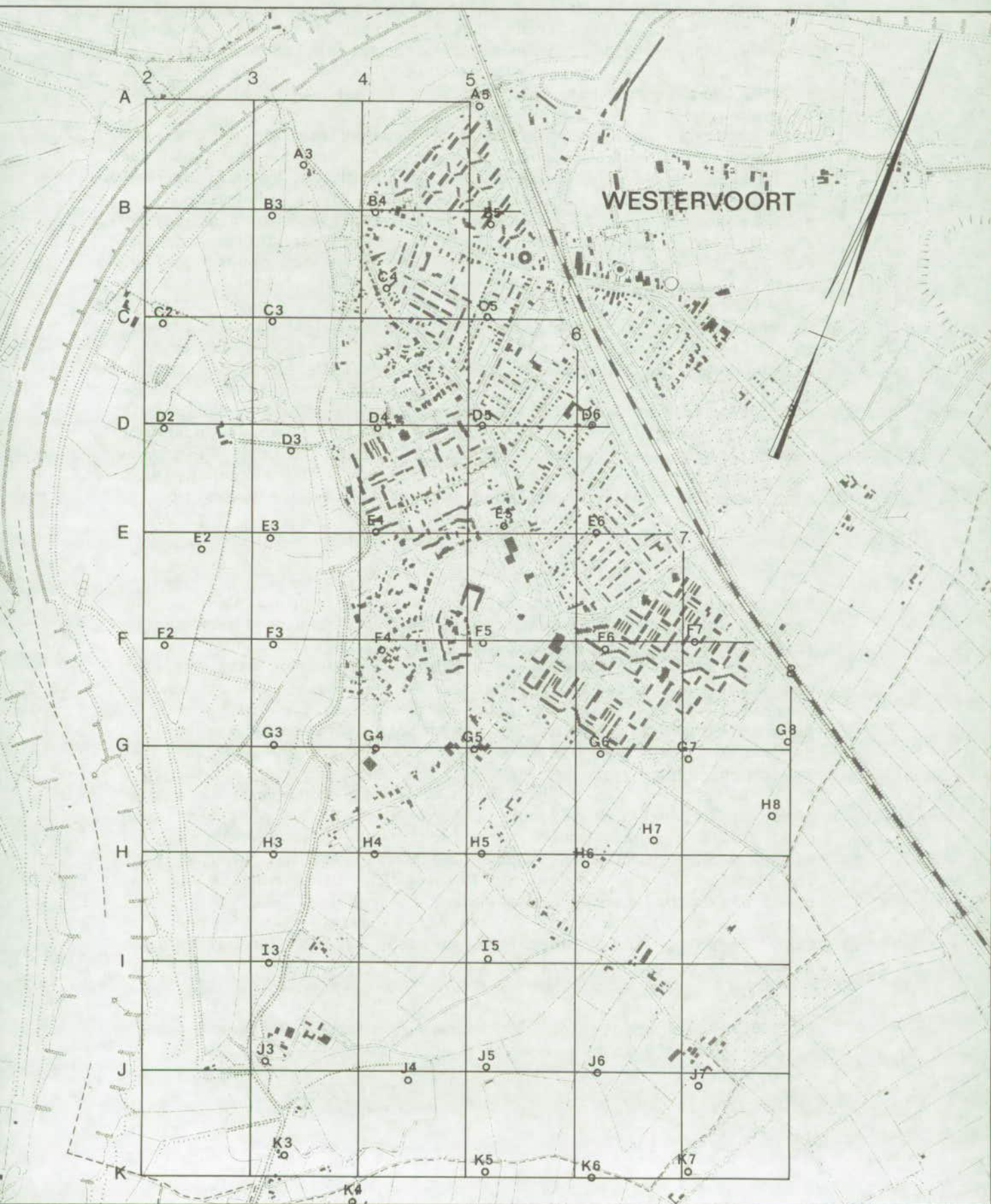
overschrijdings- frequentie	gemiddelde duur van de overschrij- ding in dagen	waterstand te IJsselkop (m NAP+)
1 x / jaar	ca. 7½ dag	11.95
1 x / 2½ jaar	ca. 6 dagen	12.70
1 x / 5 jaar	ca. 5½ dag	13.30
1 x / 10 jaar	ca. 5 dagen	13.55

Het maximum in de gemeten reeks van rivierpeilen bij IJsselkop bedraagt gedurende de periode november 1984 t/m februari 1987 NAP+ 12.70 m (zie bijlage 4.2). Een dergelijke waterstand wordt gemiddeld 1 x per 2½ jaar overschreden en blijft dan gemiddeld ca. 6 dagen op of boven dat peil.

Stijghoogten

Op initiatief van de studiegroep zijn in oktober 1984 op een vijftigtal locaties in een netwerk van 300 bij 300 m boringen verricht met de opzet diepe en ondiepe peilbuizen te plaatsen. De uitvoering lag in handen van gemeente en polderdistrict. De situering van de meetpunten is aangegeven in figuur 4.1, en tevens opgenomen als bijlage 4.7.

Figuur 4.1 Situering boorpunten en peilbuizen



Elke meetlocatie heeft in principe een peilfilter in het "tus-senzand" (tweede watervoerende laag) tot een diepte van ongeveer 3 m -mv. en een filter in het ophoogmateriaal (eerste watervoerende laag) tot een diepte van maximaal 1 m -mv. Door die afwisselende bodemopbouw is hiervan op verscheidene plaatsen nogal afgeweken.

De waterstanden zijn opgenomen door medewerkers van de gemeente Westervoort. De meetfrequentie van de grondwaterstand in de peilbuizen is gesteld op 14-daagse waarnemingen. Wanneer evenwel het peil van de Rijn te Lobith boven NAP+ 13.00 m kwam, zou dagelijks worden gepeild. Door omstandigheden is hier niet altijd aan voldaan. Bovendien zijn een aantal peilbuizen in de loop der tijd in het ongereede geraakt. Dit alles heeft tot gevolg, dat er geen of geen volledige reeks waarnemingen van iedere peilbuis beschikbaar is.

De meetgegevens zijn door de provincie verwerkt tot grafieken met tijd-stijghoogtelijnen* (zie bijlage 4.3: Tijd-stijghoogtelijnen van peilbuizen-netwerk Westervoort). De stijghoogten van de diepe peilfilters zijn per locatie uitgezet in de tijd (oktober 1984 t/m februari 1987) en uitgedrukt in m NAP+. Daarbij is tevens de hoogte van het maaiveld en het niveau van de onderkant van het peilfilter vermeld. Om direct de relatie van de grondwaterstand met de IJsselstand en de neerslag af te kunnen lezen zijn deze gegevens (zie bijlagen 4.1 en 4.2) bij iedere tijd-stijghoogtelijn opgenomen.

Bodemopbouw

Van iedere locatie in het netwerk waar een boring is verricht (zie figuur 4.1 voor de situering), is een boorstaat getekend om inzicht te krijgen in de bodemopbouw in het bijzonder nà het bouwrijp maken. Een van de mogelijke oorzaken van wateroverlast was immers de wijze van ophogen en de kwaliteit van het ophoogmateriaal. De boorstaten zijn opgenomen in bijlage 4.4.

Om enig ruimtelijk inzicht te krijgen in de bovenste 3 meter van de bodem zijn de boorstaten geschematiseerd in een zevental lengteprofielen over het gebied van Westervoort (zie bijlage 4.5). De ligging van de profielen is op te maken uit de situering van het netwerk (figuur 4.1). Er is naar een sterke vereenvoudiging gestreefd; punten zijn door rechte lijnen verbonden; klei-, veen- en relatief dunne ingesloten zandige laagjes zijn tot "ondoorlatende" bovenlaag bestempeld; de zandbasis is benoemd als "doorlatende" onderlaag.

Voorts zijn van de hoogste en laagste IJsselstanden bij meetstation IJsselkop in de meetperiode oktober 1984 tot en met februari 1987 de peilen ingetekend.

* tijd-stijghoogtelijn: lijn die het verloop weergeeft van de stijghoogte in één bepaald punt.

Om de gelijktijdige invloed op de grondwaterstanden landinwaarts vast te stellen zijn op dezelfde data de stijghoogten weergegeven; dit levert het stijghoogte-oppervlak. Dat de diepe peilfilters niet altijd in de bedoelde "tussenzandlaag" zijn afgesteld, moge blijken uit de aanduiding van de onderkant van de peilbuis in de lengteprofielen. Het is de vraag welke stijghoogte is gemeten, van het eerste watervoerend pakket (tussenzand) of van het tweede (basiszand), of van een combinatie van beide of zelfs van meerdere lagen. De interpretatie van een boring en het stellen van peilfilters is dan ook zeer nauwgezet werk, hetgeen de kwaliteit van peilbuiswaarnemingen sterk bepaalt.

Verticaal beschouwd is nu inzicht ontstaan in de bodemopbouw en de grondwaterstanden in de tijd bij laagwater- en hoogwatersituaties. Een blik op het kaartvlak bij een laagwater- en een hoogwatersituatie verschaft vervolgens de derde dimensie.

Daartoe zijn van het gebied Westervoort zes isohypsenpatronen* samengesteld (zie bijlage 4.6, figuur 1 t/m 6). Voor ieder patroon van de betreffende datum is de toestand in de voorafgaande week gekarakteriseerd met betrekking tot het rivierpeil te IJsselkop en de neerslag te Duiven.

Figuur 1 (bijlage 4.6) toont de situatie bij een vrijwel constante laagwatersituatie (ca. NAP+ 8.35 m), waaraan slechts nog lagere standen vooraf gingen (zie bijlage 4.2). Gelet op het verloop van de isohypsen kan dit worden beschouwd als een duidelijk voorbeeld van de onder deze omstandigheden drainerende werking van de rivier. De neerslag is gemiddeld 2.2 mm d^{-1} , een over het jaar gemiddelde hoeveelheid. De isohypsen, met intervallen van 0.50 m, zijn gebaseerd op 75% van de peilbuizen die oorspronkelijk geplaatst zijn. Als gevolg daarvan is de mate van nauwkeurigheid niet gelijkmatig over het gebied verdeeld. Met name rondom raai I zijn weinig meetgegevens beschikbaar. Het patroon is derhalve een zekere interpretatie van de beschikbare stijghoogten.

Dit geldt ook voor de overige figuren 2 tot en met 6 (bijlage 4.6), die het beeld van (de aanloop van) een hoogwatergolf te zien geven. Hier spreken we van een infiltrerende rivier, wat bevestigd wordt door de ligging van de isohypsen. De neerslag neemt in deze periode af van bijna 7 mm d^{-1} (figuur 3) tot 1 mm d^{-1} (figuur 6) gemiddeld gedurende een week. De combinatie van hoogwater en neerslag is dus het meest extreem rond 24-01-86. Dit vinden wij ook terug in het isohypsenpatroon van die dag (bijlage 4.6: figuur 3).

* Isohypse (plaats-stijghoogtelijn): hoogtelijn voor de stijghoogte.

Doorlatendheidsmetingen

In opdracht van de gemeente Westervoort zijn in oktober 1984 door het ingenieursbureau voor geotechniek Fugro op 34 locaties doorlatendheidsmetingen verricht in het bestaande netwerk van zowel diepe als ondiepe peilbuizen. Het doel van deze metingen was een basisgegeven toe te leveren voor de drainageberekening. De resultaten zijn echter met enige reserve opgeleverd. De gemeten doorlaatfactoren (volgens falling-head methode*) zouden beïnvloed zijn door de wijze van plaatsen, omstorting en afdichting, terwijl in een aantal gevallen zou blijken dat de perforatie van een peilfilter zich over meer dan een bodemlaag uitstrekte. Nadere analyse van de doorlatendheidsmetingen heeft inderdaad aangetoond dat de doorlaatfactor niet nauwkeurig genoeg met de bestaande peilfilters is te bepalen; het is niet bekend op welke diepte de doorlaatfactor is bepaald.

De resultaten van de doorlatendheidsmetingen zijn vermeld in bijlage 4.4. De datum waarop de grondwaterstanden zijn gemeten ontbreekt hierop.

4.2 Analyse en interpretatie

4.2.1 Algemeen

De waarnemingsperiode voor het onderzoek naar de oorzaken van grondwateroverlast heeft bijna 2½ jaar geduurd en bevatte een aantal hydrologische situaties, die nodig waren om de reacties van het geohydrologisch systeem te analyseren. Het meetnet van diepe peilbuizen is opgezet met een voldoende dichtheid, echter met onvoldoende spreiding, met name raai I was onvolledig. Door omstandigheden zijn de waarnemingen van de peilbuizen met wisselende meetfrequentie verricht en geregistreerd, zodat een aantal perioden leemtes vertonen. Aan het eind van de meetperiode blijkt dat nog maar 75% van de geplaatste diepe peilfilters intact is. Dat veroorzaakt soms een onnauwkeurigheid in tijd en plaats, en heeft de analyse bemoeilijkt. De hoogwatergolf van januari 1986 is bijvoorbeeld goed gevolgd in de peilbuizen; maar de reactie op intensieve neerslag is slechts bij toeval waargenomen in plaats van tijdens geplande waarnemingen na intensieve neerslag.

Met de beschikbare peilbuiswaarnemingen (ca. 1800!) is desondanks een redelijk goed beeld ontwikkeld om het geohydrologisch systeem te interpreteren.

4.2.2 Ondiepe peilfilters

Bij de presentatie van de meetresultaten is het waarschijnlijk opgevallen, dat er geen waarnemingen van de ondiepe peilfilters (ca. 1 m diep) zijn verwerkt.

* falling-head methode: methode om doorlaatfactor te meten door op een filterbuis een kolom water te zetten en de daalsnelheid te bepalen.

De oorzaak ligt in het feit, dat de weinige grondwaterstanden die konden worden vastgesteld noch met de rivierstanden, noch met de neerslag enige samenhang vertoonden.

Bovendien stonden de buizen meestentijds droog, terwijl wel grondwateroverlast optrad. De beoogde meting van de (schijn)-grondwaterspiegel kan kennelijk niet plaatsvinden in deze buizen, maar wel in de kruipruimten waar het water stagneert.

In een stedelijk gebied als Westervoort is de bovenlaag sterk verstoord en in het algemeen slecht doorlatend als gevolg van het toegepaste ophoogmateriaal. De ondiepe peilbuizen geven derhalve een te geïsoleerde niet representatieve waarneming weer.

4.2.3 Diepe peilfilters

In principe zijn de diepe peilfilters afgesteld op een diepte overeenkomend met die van het tussenzand (tot ca. 3 m -m.v.). Gebleken is echter dat de filters in het 1e watervoerend pakket en/of in het tweede (basiszand) staan. Dat betekent dat de verticale weerstand van het klei/veenpakket (zie 3.3) niet tot uiting komt in de stijghoogtelijnen.

- Relatie IJsselstand - grondwaterstand

In het algemeen volgen de tijd-stijghoogtelijnen de trend van de IJsselstand redelijk, zonder veel vertraging, hoewel de meetfrequentie ten opzichte van dagelijkse rivierstanden het niet toelaat daaruit harde conclusies te trekken. De stijghoogte doet zich evenwel soms ver landinwaarts (tot minstens ca. 2000 m) gelden, zoals is te zien bij F6, G8, J7 en K7 (zie ook lengteprofielen G-G', K-K' en 5-5'). De invloed van de kwel lijkt dan ook groter dan eerst werd aangenomen.

Nadere analyse van de tijd-stijghoogtelijnen van de diepe peilfilters leverde enkele schijnbaar niet te verklaren feiten op.

Zo valt bij peilbuis G7 op dat ten tijde van de hoogwatergolf in januari 1986 een daling optrad. De naastgelegen G6 en G8 vertonen het tegendeel. Navraag bij de gemeente wees uit dat in de tweede helft van januari 1986 een bronbemaling van 120 m³/h ten behoeve van de constructie van een duiker in werking is geweest. De invloed is duidelijk terug te vinden op de isohypsenpatronen van figuur 3 tot en met 6 (gearceerd in bijlage 4.6), een anders niet te verklaren depressie binnen de 9.00 m isohypse. Of de bronbemaling ook invloed heeft gehad op de omliggende peilbuizen is niet duidelijk. In ieder geval staat vast, dat het isohypsenpatroon juist ten tijde van de hoogwatergolf in de wijk Leigraaf is verstoord. Ook in lengteprofiel G-G' zit een verlaging in het stijghoogte-vlak (bijlage 4.5), een gevolg van dezelfde onttrekking.

Hetzelfde profiel G-G' levert nog meer merkwaardigs op, namelijk de verlaging bij G7 in de laagwatersituatie. Een grondwateronttrekking van ca. 70 m³/h in plan Steenderens van 19 augustus tot 11 oktober 1985 blijkt hier de oorzaak.

Een meetfout moet overigens in dit lengteprofiel G-G¹ de standen bij G3 verklaren, gelet op het niveau van de onderkant peilbuis.

In veel tijd-stijghoogtelijnen valt een hogere waarde van de tweede waarneming in oktober 1984 op terwijl het rivierpeil daalt. Deze waarden zijn zeer waarschijnlijk het gevolg van de nog niet uitgewerkte invloed van de doorlatendheidsmetingen die waren uitgevoerd. Deze doorlatendheidsmeting berust namelijk op het vullen van de peilbuis met water en het meten van de snelheid van uitzakken.

De bemaling van de Pleijpolder laat zijn invloed rechtstreeks gelden op de stijghoogten van de meetpunten A3, C3, D2, E2, F3, G3 en H3 die gedurende de hoogwatergolven een bij benadering constant niveau hebben.

Het zwembad en het wiel, beide direct in contact met het derde watervoerend pakket, tonen duidelijk hun invloed op de isohypsenpatronen; het meest uitgesproken in de figuren 3, 5 en 6 (bijlage 4.6). In wijk De Weem is het singelpeil (NAP+ 9.20 m) overeenkomstig het grote kwelbezwaar. De drainage in Vredenburg lijkt goed te werken. De wijk Emmerik heeft het zwaar te verduren gelet op de uitstulping van de 10.00 m isohypse, naar alle waarschijnlijkheid het gevolg van de aanwezigheid van het wiel. De drainage van Hoogeind lijkt bestand te zijn tegen de hoge potentiaaldruk aan de andere zijde van de bandijk; er blijkt namelijk vrijwel geen stijging ten gevolge van de hoogwatergolf op te treden. Ook het dikkere klei/veenpakket in het zuidwestelijke deel draagt wellicht bij in een afscherming tegen kweldruk en wegzijging in droge tijden.

Beschouwing van de isohypse van NAP+ 10.00 m in de opvolgende figuren van bijlage 4.6 leert, dat de invloed van de stijgende rivier het sterkst tot uitdrukking komt langs de bandijk in de wijk Mosterdhof (in het noorden), bij De Schans (in het zuidwesten) en bij de wijk Emmerik (in het westen). In tabel 4.2 zijn voor de verschillende wijken de stijghoogten vergeleken met de gemiddelde maaiveldhoogten per wijk.

Tabel 4.2 Stijghoogten in Westervoort gedurende de hoogwatergolf d.d. 24 januari 1986 met frequentie 1 x per ca. 1½ jaar.

wijk	klachten	gemiddeld		stijghoogte (m -m.v.)
		maaiveld (m NAP+)	stijghoogte (m NAP+)	
Oude kern	-	10.20	9.41	0.79
Struikendoorn	+	10.60	9.87	0.73
Vredenburg	+	10.80	9.41	1.31
De Weem	-	10.70	9.62	1.08
Mosterdhof	+	10.80	10.36	0.44 !
Broeklanden	+	10.30	9.40	0.90
Emmerik	+	10.55	10.28	0.27 !
Lange Maat	-	10.30	9.78	0.52 !
Leigraaf	+	10.30	9.70	0.60
Hoogeind	-	10.50	9.46	1.04
Steenderens	-	10.30	9.72	0.58
Ganzepeel 1	-	10.30	9.87	0.43 !
Ganzepeel 2	-	10.30	9.37	0.93

! : stijghoogte < 0.55 m-mv

In de Mosterdhof stijgt de potentiaal tot 0.44 m-mv en in Emmerik zelfs tot minder dan 0.30 m-mv. In de Lange Maat biedt het dikke kleipakket kennelijk voldoende weerstand tegen de stijghoogte tot 0.52 m-mv; er zijn daar geen klachten bekend. In Ganzepeel 1 reikt de potentiaal eveneens tot ca. 0.40 m-mv. Of toen de drainage al in werking was, is niet duidelijk; het aanwezige afdekkend pakket (zie boorstaten H7, H8, J6, J7) zou de gevolgen voor de grondwaterstand in ieder geval beperkt moeten houden. Dit vereist nog nader onderzoek. De overige gebieden in Westervoort hebben gezien de kweldruk minder problemen. Opmerkelijk is dat zich in Vredenburg toch klachten voordoen; hierop wordt nader ingegaan in § 4.3.

- Relatie neerslag - grondwaterstand

Bij het opstellen van het meetprogramma is niet uitgegaan van een verhoogde meetfrequentie van de peilbuizen na intensieve neerslag, zoals dat wel het geval was tijdens een hoogwatergolf. Dat maakt het zoeken naar een samenhang tussen stijghoogten en neerslag lastig. Toch is er een situatie gemeten, die een bijna constant rivierpeil vertoonde en tegelijkertijd een hoge neerslagintensiteit, namelijk gemiddeld 5.9 mm d^{-1} gedurende een week en 15.2 mm op de dag voorafgaande aan de meting, d.d. 16 januari 1986 (zie figuur 2 van bijlage 4.6). Het isohypsenpatroon boven het stedelijk gebied van Westervoort is vrij vlak met uitzondering van het zuidwesten (eerste invloed van stijgend rivierpeil?) en het noorden, de wijk Mosterdhof (extreme wateroverlast door neerslag?). De drainerende werking van de IJssel blijkt uit de opeenvolging van de isohypsen. In welke mate deze neerslag de stijghoogten in de verschillende wijken beïnvloedt wordt duidelijk in tabel 4.3, waarin de standen worden vergeleken met de gemiddelde maaiveldhoogte per wijk.

Tabel 4.3 Stijghoogten in Westervoort na intensieve neerslag
d.d. 16 januari 1986 met een gemiddelde frequentie van
ca. 2 x per jaar

wijk	klachten	gemiddeld		stijghoogte (m -mv)
		maaiveld (m NAP+)	stijghoogte (m NAP+)	
Oude kern	-	10.20	9.41	0.79
Struikendoorn	+	10.60	9.31	1.29
Vredenburg	+	10.80	9.37	1.43
De Weem	-	10.70	9.18	1.52
Mosterdhof	+	10.80	10.31	0.49 !
Broeklanden	+	10.30	9.15	1.15
Emmerik	+	10.55	9.98	0.57
Lange Maat	-	10.30	9.88	0.42 !
Leigraaf	+	10.30	9.65	0.65
Hoogeind	-	10.50	9.36	1.14
Steenderens	-	10.30	9.57	0.73
Ganzepoel 1	-	10.30	9.84	0.46 !
Ganzepoel 2	-	10.30	9.32	0.98

! : stijghoogte < 0.55 m-mv

In de Mosterdhof stijgt de potentiaal tot 0.49 m -mv. Daar slaagt de neerslag er kennelijk snel in door het dikke afdekken-
de kleipakket de druk voort te planten naar het watervoerend
pakket. De ondiepe grondwaterstand heeft hier waarschijnlijk de
zelfde potentiaal; grondwateroverlast moet hier het gevolg zijn.
In Emmerik wordt 0.57 m -mv bereikt, evenmin een situatie die
voldoet aan de norm van 0.70 m -mv.

De wijk Lange Maat vertoont in de situatie van intensieve neer-
slag een nog hogere potentiaal (0.42 m -mv) als tijdens hoogwa-
ter (0.52 m -mv). Neerslag is dus van groter belang, hoewel er
geen klachten bekend zijn.

In Ganzepoel 1 is een stijghoogte van 0.46 m -mv geregistreerd;
dat is meer dan 0.20 m onder de norm. Er bevindt zich een afdek-
kend kleipakket van ca. 2.00 m dikte, dat kennelijk weinig in-
vloed heeft. Neerslag is ook hier van invloed. Er kan van worden
uitgegaan, dat de aanwezige drainage functioneert.

Vermeldenswaard in het kader van de activiteiten van de studie-
groep zijn de grondwaterstanden in Leigraaf. Na intensieve neer-
slag blijkt de stijghoogte het niveau van 0.65 m -mv te berei-
ken. Dit benadert de norm voor het ontwerp van de drainage met
een overschrijdingsfrequentie van 1x per jaar.

De stijghoogten gedurende de "neerslagsituatie" geven eerder
aanleiding tot het projecteren van die waarden naar het ondiep
grondwaterniveau dan de "hoogwatersituatie", omdat de eerste
situatie een naar beneden gerichte stroming is en de tweede een
naar boven gerichte stroming.

Resumerend kan gesteld worden dat in de wijken Mosterdhof, Lange Maat, Ganzepoel 1 en Emmerik de norm van gemiddeld 1 x per 10 jaar een grondwaterstand van 0.55 m -mv wordt overschreden. Behoudens de wijk Emmerik doet dit zich in deze wijken reeds voor zowel bij een hoogwatergolf met een frequentie van voorkomen van 1 x per ca. 1½ jaar als na intensieve neerslag met een gemiddelde frequentie van 2 x per jaar. In paragraaf 4.3 wordt hier nader op ingegaan.

4.2.4 Optimalisatie van het meetnet

Onder andere uit economische overwegingen is het van belang dat het aantal waar te nemen peilbuizen niet groter wordt dan strikt noodzakelijk is.

Een van de doelstellingen van het onderzoek was dan ook het uitbrengen van een voorstel ten aanzien van het uitdunnen en/of minder frequent waarnemen van grondwaterstandmeetpunten uit het bestaande grondwaterstandmeetnet in de gemeente Westervoort. Dit betekent dat met een minimum aan meetpunten een zo goed mogelijke bewaking van de stijghoogte kan plaatsvinden. Tevens kan het teruglopen van het functioneren van het ontwaterings/afwateringssysteem worden gesignaleerd.

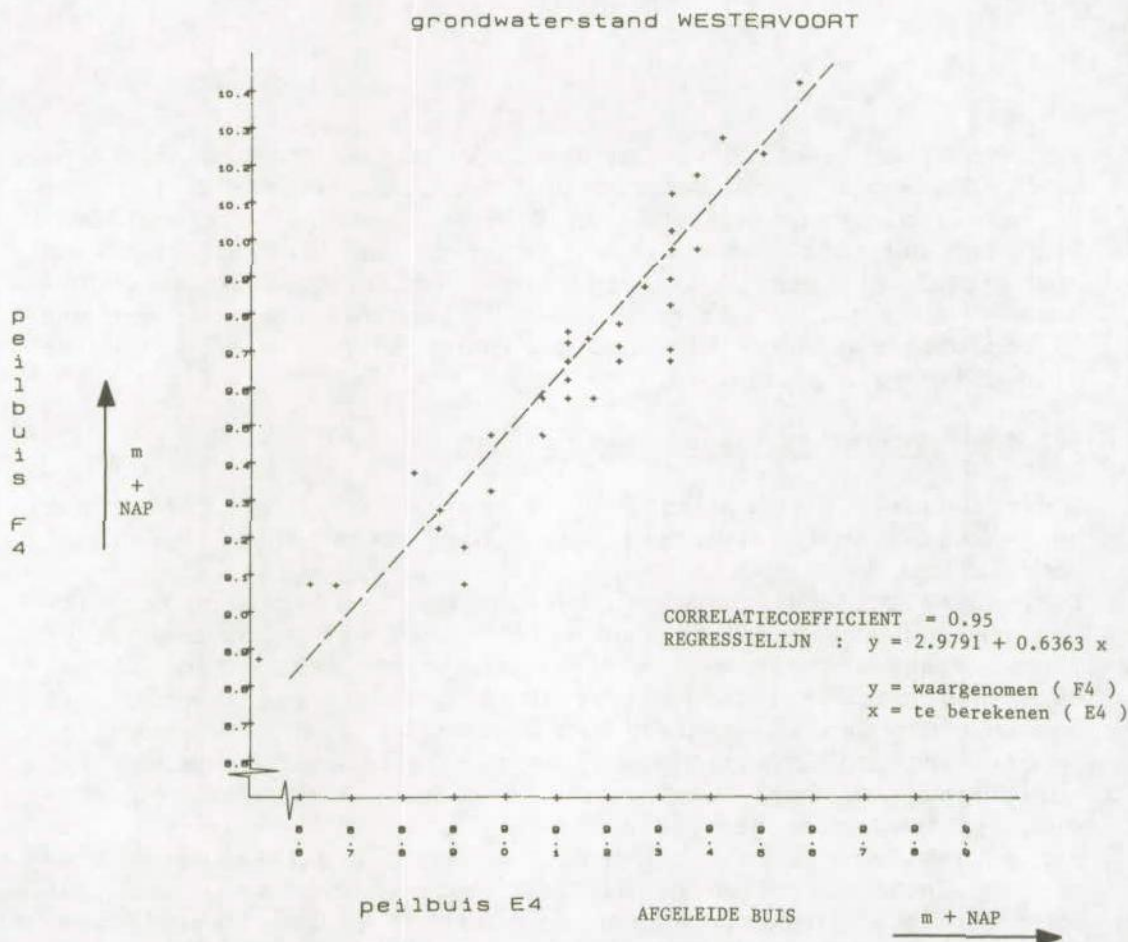
Het spreekt voor zich dat men niet zomaar een willekeurige lokatie kan laten vervallen of minder frequent waarnemen, maar dat door gerichte berekeningen een zo juist en representatief mogelijk waarnemingsnet overblijft.

Bij dit optimaliseringsvraagstuk dient dus op basis van de aanwezige meetreeksen per lokatie berekend te worden in welke mate andere, veelal omliggende, meetpunten hiermee overeenkomen. De mate van overeenkomst kan met behulp van correlatieberekeningen worden gekwantificeerd tot een waarde voor de zogenaamde correlatiecoëfficiënt. De bandbreedte van de correlatiecoëfficiënt loopt van -1.0 t/m +1.0. In de praktijk wordt bij een correlatiecoëfficiënt van 0.8 van een redelijke correlatie gesproken en bij een coëfficiënt van 0.9 van een vrij goede correlatie.

Aan de hand van deze correlatieberekeningen kunnen een aantal zogenaamde "stambuizen" worden geselecteerd. De naar verwachting optredende grondwaterstanden in de niet geselecteerde lokaties, de zogenaamde "afgeleide buizen", kunnen dan worden berekend met behulp van de vastgestelde mathematische relatie tussen de betreffende stambuis en elk van de omliggende meetpunten.

Het verband tussen twee waarnemingsreeksen zal aan de hand van figuur 4.2 worden toegelicht.

In de figuur is een correlatiediagram gegeven van de peilbuizen F4 en E4. De waarnemingen van overeenkomende waarnemingsdata zijn hier tegen elkaar uitgezet. De punten die ontstaan in het diagram geven een beeld van het verband, ofwel de aanwezigheid van correlatie tussen de twee buizen. Indien al deze punten op één lijn zouden liggen is er sprake van een volledige correlatie (1.0). In dit geval is de correlatiecoëfficiënt 0.95, een goede correlatie.



figuur 4.2: Correlatiediagram stambuis F4 - afgeleide buis E4

Tevens kan met behulp van lineaire regressieberekeningen de relatie tussen deze twee reeksen worden vastgesteld. In feite is dit de berekening van de rechte lijn die zodanig door deze puntenwolke kan worden getrokken dat de totale afwijking van de punten ten opzichte van deze lijn minimaal is (methode der kleinste kwadraten). Deze lijn noemt men de regressielijn, met als algemene formule $y = a + b \cdot x$, waarin y de waargenomen stijghoogte is in de stambuis en x de te berekenen stijghoogte in het afgeleide meetpunt.

Naarmate het aantal vergelijkingspunten bij de berekening van de correlatie kleiner wordt neemt de nauwkeurigheid van de coëfficiënten a en b af. Van de correlatieberekeningen waarbij de correlatiecoëfficiënt groter of gelijk is aan 0.9, is slechts een gering aantal gebaseerd op minder dan 30 vergelijkingspunten.

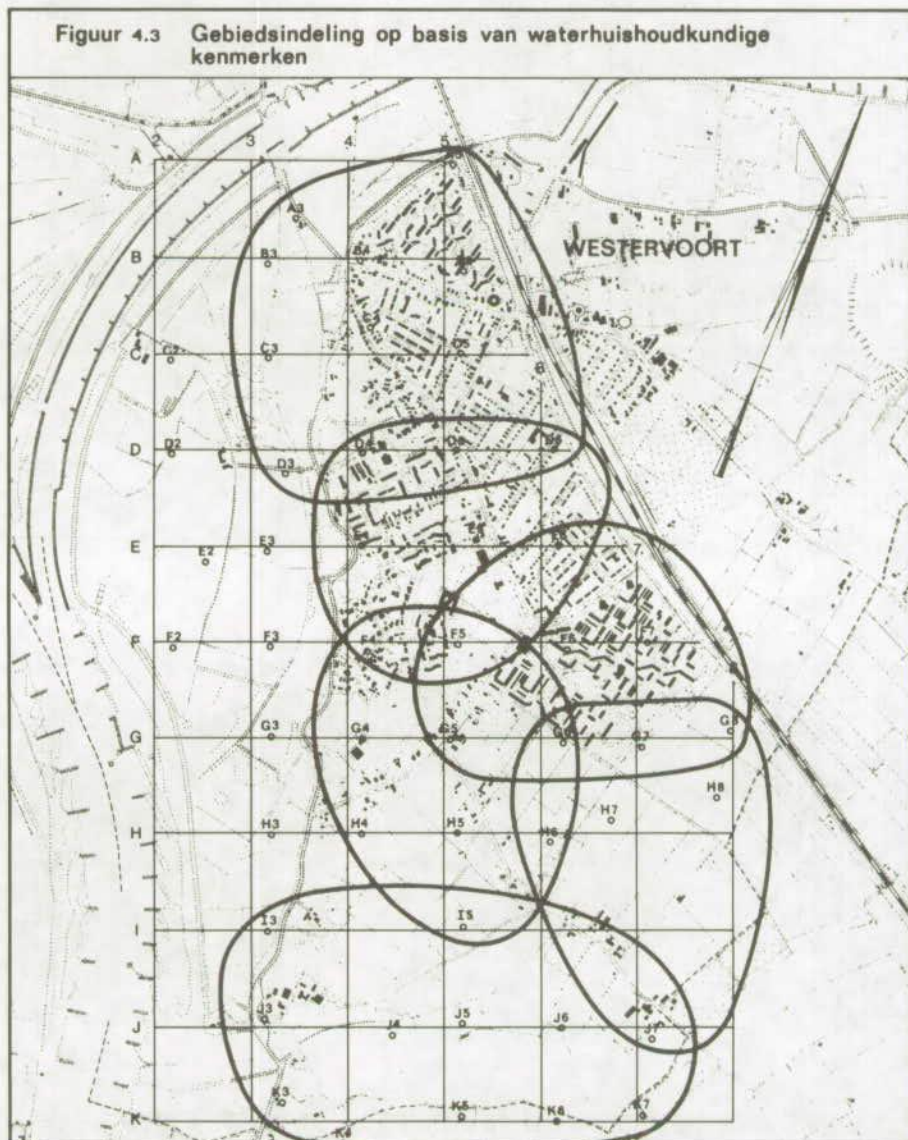
In tabel 4.4 zijn in een matrix de correlatiecoëfficiënten van elk van de stijghoogtereeksen weergegeven.

Zoals eerder genoemd is de peilbuis G7 gedurende een aantal waarnemingen sterk beïnvloed geweest door een bronnering. Deze peilbuis is gelet op het resterende aantal waarnemingen niet in de berekening betrokken.

Bij de totstandkoming van deze tabel is als volgt te werk gegaan. Allereerst is op basis van visuele interpretatie van alle tijdstijghoogtelijnen een drietal berekeningen uitgevoerd over het gehele gebied. Dit betreft de veronderstelde stambuizen A3, E6 en F4. Doel hiervan was een eerste indruk te krijgen van de representativiteit van één enkele waarnemingslokatie voor verafgelegen gebiedsdelen.

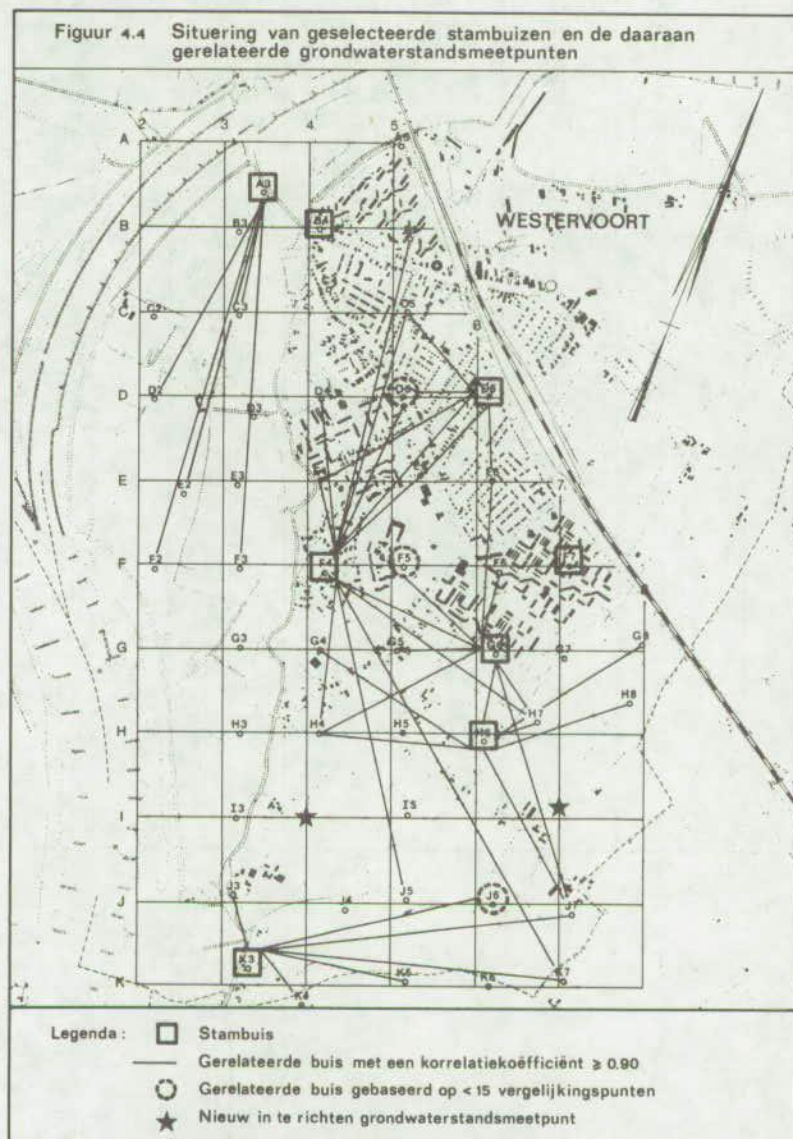
Bij A3 waren van de 43 doorgerkende lokaties slechts 5 lokaties met een correlatiecoëfficiënt ≥ 0.9 . Bij E6 waren dit er slechts 3 van de 33. Lokatie F4 kwam met een aantal van 12 van de 32 lokaties met een correlatiecoëfficiënt ≥ 0.9 het best uit de berekening.

Vervolgens is het gebied op basis van waterhuishoudkundige kenmerken, zoals bijvoorbeeld aanwezigheid van drainaige, onderscheiden in een zestal deelgebieden (zie figuur 4.3)



Per deelgebied is voor elk van de aanwezige meetpunten een berekening uitgevoerd, waarbij deze als stambuis worden verondersteld. Aan de hand van de resultaten kan/kunnen de optimale stambuis(zen) in het betreffende deelgebied worden vastgesteld.

In tabel 4.5 is een overzicht gepresenteerd waarbij per deelgebied een stambuis is geselecteerd, te weten A3, D6, F4, G6, H6 en K3. Tevens zijn in deze tabel de afgeleide meetpunten en de waarde van de coëfficiënten a en b uit de regressieformule weergegeven. Aangezien het aan de berekening ten grondslag liggende aantal vergeleken waarnemingen van groot belang is, is ook dit in deze tabel vermeld.



Tabel 4.5 Geselecteerde stambuizen met daaraan gerelateerde meetlokaties

wijk/gebied	geselecteerde stambuis	gerelateerde meetlokatie(s)	correlatie-coëfficiënt	coëfficiënten van lineaire vergelijking $y = a + bx$		aantal vergeleken waarnemingen
				a	b	
Pleijpolder	A3	C3	0.95	0.0860	0.9048	39
		D2	0.95	0.8200	0.9048	36
		E2	0.96	1.2647	0.9325	38
		F2	0.96	1.0720	0.9573	36
		F3	0.97	1.0957	1.0506	32
Oude kern, Emmerik en Vredenburg	D6	C5	0.92	0.2641	0.9553	37
		D5	0.96	2.3405	0.7768	17
		E4	0.95	2.5975	0.7231	39
		E5	0.94	0.4652	0.9380	39
		E6	0.91	4.9232	0.4531	39
		F4	0.90	0.3928	1.0263	39
Emmerik, Vredenburg, oude kern, Struikendoorn, Mosterdhof, Lange Maat, Hoogeind, Ganzepoel	F4	B5	0.94	-0.4403	1.0395	40
		C5	0.90	0.6886	0.8496	38
		D4	0.90	-0.5820	1.0151	30
		D5	0.90	3.2649	0.6322	18
		E4	0.95	2.9791	0.6363	40
		E5	0.92	1.1489	0.8056	40
		G6	0.91	2.2018	0.7079	40
		H4	0.92	2.0577	0.7239	39
		H7	0.91	-1.5613	1.1027	40
		J5	0.90	1.2850	0.8034	17
Broeklanden, Lange Maat, Emmerik en oude kern-zuid	G6	K7	0.93	-3.5555	1.3455	39
		E6	0.91	4.4599	0.5043	40
		F5	0.91	-0.5870	1.1374	12
		F6	0.90	-3.3980	1.3723	38
		G5	0.91	-5.5824	1.6274	35
		H4	0.96	-0.7170	1.0791	39
		H6	0.97	-3.1458	1.3806	40
		H7	0.94	-4.1446	1.4640	40
Steenderen Leigraaf, Lange Maat, Hoogeind	H6	J7	0.92	-4.2145	1.5000	39
		G4	0.90	0.5627	0.9398	34
		G8	0.92	-5.1457	1.5268	36
		H4	0.91	2.5251	0.6979	39
		H7	0.97	-0.7162	1.0505	40
		H8	0.90	2.0533	0.7137	40
		J7	0.92	-0.2217	1.0251	39
Schans, Ganzepoel 1 en 2	K3	G4	0.90	0.5627	0.9398	34
		G8	0.92	-5.1457	1.5268	36
		H4	0.91	2.5251	0.6979	39
		H7	0.97	-0.7162	1.0505	40
		H8	0.90	2.0533	0.7137	40
		J7	0.92	-0.2217	1.0251	39
Broeklanden	F7	J3	0.94	-0.3236	1.0949	32
		J6	0.92	-1.6756	1.1533	4
		J7	0.95	0.6537	0.9044	39
		K4	0.93	-2.2216	1.2535	37
		K5	0.93	3.1800	0.6090	37
		K7	0.94	-1.2064	1.1072	39
Mosterdhof	B4					

Gelet op tabel 4.5 kan worden geconcludeerd dat de optredende stijghoogte ter plaatse van genoemde afgeleide meetpunten vrij goed te berekenen is. In figuur 4.4 zijn de relaties van de onderscheiden stambuizen, ruimtelijk uitgewerkt.

Uit deze figuur blijkt echter tevens dat er toch een aantal blinde vlekken aanwezig zijn. Ten aanzien van het noordelijke deel in de omgeving van de wijk Mosterdhof kan worden vermeld dat hier geen grote ruimtelijke correlatie is te onderscheiden. Lokatie B4 zal dus gehandhaafd moeten worden als stambuis (ondanks de zeer beperkte ruimtelijke gelding). Een groot deel van de spontane klachten is afkomstig uit de wijk Broeklanden. Het centraal in deze wijk gelegen meetpunt F7, waar slechts een beperkte waarnemingsreeks van beschikbaar is, zal daarom hersteld moeten worden.

Verder zijn er in het zuidelijk deel van Westervoort twee gebiedsdelen, waar door voortijdig wegvallen van de grondwaterstandsmeetpunten ter hoogte van I4, I6, I7 en I8, geen of zeer weinig waarnemingen van de stijghoogte aanwezig zijn, zodat geen betrouwbare correlatiestructuur kon worden vastgesteld.

In deze gebiedsdelen zal een nieuw meetpunt moeten worden ingericht, waarna te zijner tijd de relatie met omliggende meetpunten kan worden berekend. Wellicht kan dan alsnog blijken dat dit meetpunt als afgeleide buis kan worden beschouwd.

Het tweetal lokaties waar het hier om gaat is in figuur 4.4 met een ster aangegeven. De positie moet hierbij niet te exact worden geïnterpreteerd, het gaat om de behoefte aan een meetpunt in deze omgeving van dit symbool.

De frequentie van waarnemen van de stambuizen en de buizen in raai I dient gesteld te worden op 2x per maand, en wel op de 14e en 28e dag volgens het landelijk toegepaste systeem van dienst Grondwater Verkenning TNO; indien dit zaterdagen zijn één dag vroeger en indien dit zon- of feestdagen zijn één dag later.

Het zal duidelijk zijn dat de vastgestelde mathematische relatie slechts geldig is, indien er geen kunstmatige ingrepen in het gebied plaatsvinden. Bij tijdelijke ingrepen zoals bijvoorbeeld grondwateronttrekkingen ten behoeve van bronnering of meer trendmatige veranderingen ten gevolge van structurele ingrepen in het waterhuishoudkundig systeem (aanleg van drainage e.d.) zal deze relatie worden verstoord. Dit zal met name een van de aspecten zijn waar de beheerder van dit meetnet bijzondere aandacht aan dient te schenken.

Het is dan ook om deze reden dat de afgeleide meetpunten niet alle komen te vervallen. Het is van wezenlijk belang, dat daar waar op korte of middellange termijn waterhuishoudkundige veranderingen zijn te verwachten, deze lokaties ten minste éénmaal per kwartaal worden waargenomen.

Deze waarnemingen dienen bij voorkeur op de hiertoe door dienst Grondwaterverkenning TNO vastgestelde landelijke peildata te worden verricht: op of omstreeks 28 april, 28 augustus, 14 oktober en 14 december.

Met behulp van de aldus verkregen gegevens kan bij een evaluatie een structurele of tijdelijke verandering wordenesignaleerd, waarna de effecten kunnen worden gekwantificeerd.

Het opzetten en handhaven van een meetnet voor grondwater is aan te bevelen voor het bewaken van de grondwaterstand. In de loop van de tijd kunnen hogere gemiddelden zich instellen, wat in een gedraineerd gebied kan worden veroorzaakt door drainvervuiling. Als de tijd-stijghoogtelijn bijvoorbeeld een algemeen dalende tendens vertoont, kan dat duiden op lekkages in rioleringen.

Bij problemen van geohydrologische aard kunnen meetresultaten (zowel kwantitatief als kwalitatief) snel worden toegepast bij de calibratie van een modelberekening.

Bij nieuwe uitbreidingsplannen kan voor het ontwerp direct gebruik gemaakt worden van de meetresultaten die dan beschikbaar zijn over meerdere jaren.

4.3 Interpretatie van de klachten

Klachten (t/m 1984) zijn afkomstig uit de Mosterdhof, Struikendoorn, Vredenburg, Emmerik, Broeklanden en Leigraaf (zie bijlage 1.1).

Sinds de aanleg van de drainage in de laatste wijk zijn daar nagenoeg geen klachten meer bekend; een en ander strookt ook met de onderzoeksresultaten.

In Struikendoorn en Broeklanden worden de klachten niet bevestigd door de metingen van de kweldruk; hier moet de oorzaak eerder liggen in gebrekkige afvoer van de neerslag.

In Vredenburg is volgens het onderzoek de potentiaal meer dan 1 m -mv in het meetpunt. Gezien de ligging tegen de bandijk en de afwisselende bodemopbouw (zie boorstaten D4, D5) kunnen de klachten hier toch gevolg zijn van kweldruk. Nadere tijdsaanduiding van de klachten moet hier duidelijkheid scheppen.

In Emmerik lijkt de klacht gegrond gezien de stijghoogte en de minder afsluitende deklaag (zie boorstaat F4). De neerslag valt hier voor 50% op verhard oppervlak (tabel 2.1), een relatief hoger percentage, zodat de oorzaak van wateroverlast minder gezocht moet worden in een minder goed functionerende afvoer van de neerslag.

In de Mosterdhof tenslotte is eveneens nadere tijdsbepaling van het optreden van wateroverlast van belang bij het onderzoek naar de oorzaak. Vooralsnog wijzen de bevindingen zowel op kwel als gevolg van hoge potentiaaldruk als op onvoldoende afvoer van neerslag.

5 MODELBEREKENINGEN

In het beginstadium van de studiegroep is besloten een aantal effecten van niet direkt in de werkelijkheid te meten situaties en maatregelen na te gaan. Simulatie door middel van het toepassen van rekenmodellen was hier de aangewezen weg voor het berekenen van extreme kwelstroming, neerslag of te nemen waterhuishoudkundige maatregelen.

Daartoe stelde de provincie voor een gecombineerde berekening te maken met de modellen GELGOM en OPPEIL.

5.1 Opzet GELGOM/OPPEIL

De afdeling Water van de dienst Milieu en Water van de provincie Gelderland heeft een aantal hydrologische computermodellen tot haar beschikking. Een van deze modellen is het stationaire simulatiemodel GELGOM, hetgeen een afkorting is voor GELders Gronden Oppervlaktewater Model. Het model beschrijft de grondwaterstroming in de verzadigde zone, waarbij tevens het oppervlaktewater in beschouwing wordt genomen.

Als basis voor de berekeningen gelden de Wet van Darcy (zie hoofdstuk 2) en de continuïteitsvergelijking.

Er wordt gebruik gemaakt van de eindige elementenmethode en een rechthoekige opbouw van het netwerk.

Het is mogelijk om tot drie watervoerende pakketten te benutten, waarvan de bovenste laag het freatisch gedeelte voorstelt. De berekeningen zijn stationair, hetgeen betekent dat geen veranderingen in de loop van de tijd kunnen worden uitgerekend. Het betekent ook dat verschillende "extreme" evenwichtssituaties moeten worden doorgerekend om de effecten van een maatgevende hoogwatergolf en maatgevende neerslag op de stijghoogte in de eerste watervoerende laag te berekenen.

Het niet-stationaire grondwatermodel OPPEIL (OPTimaal PEIL-beheer) maakt het mogelijk de in het modelgebied optredende stijghoogten als gevolg van een hoogwatergolf te berekenen. Met behulp van dit programma kunnen per tijdstap variërende stijghoogten in een raai loodrecht op de IJssel worden gesimuleerd. De resultaten van OPPEIL worden vervolgens ingevoerd als randvoorwaarden in het model GELGOM, zijnde een maatgevende hoogwatersituatie.

Een belangrijke beperking van de toepassing van GELGOM voor deze modelberekening is dat twee niet-stationaire processen:

- een met de dag variërende buitenwaterstand (i.c. de hoogwatergolf), en
 - een steeds wisselende neerslagintensiteit;
- moeten worden omgezet in respectievelijk twee stationaire toestanden:
- een hoogwaterstand met een te kiezen overschrijdingsfrequentie en

- een te kiezen maatgevende afvoer eventueel gecombineerd met een ontwateringsdiepte met een onderschrijdingsfrequentie naar keuze.

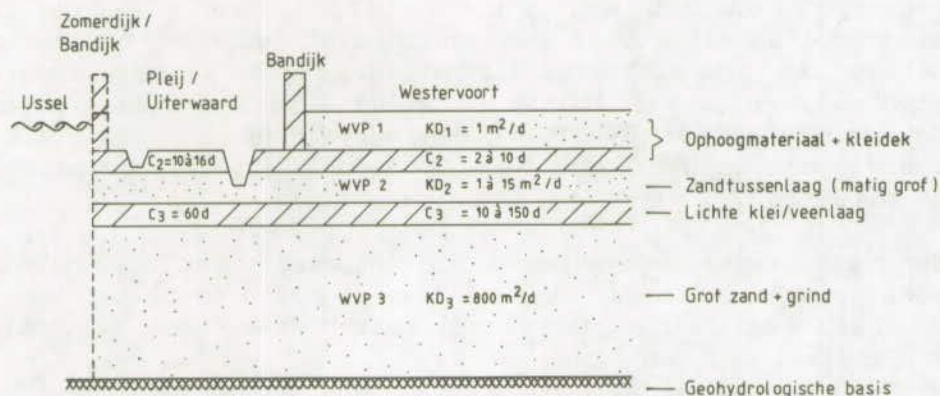
De GELGOM-modelberekening voor Westervoort is opgesplitst in een aantal onderdelen.

- 1 Schematisatie van het gebied Westervoort met betrekking tot de geohydrologie, de rivierwaterstanden en de waterhuishouding.
- 2 Berekening van het freatisch niveau in een standardsituatie met gemiddelde IJsselstanden met 1 mm neerslag.
- 3 Berekening van het freatisch niveau in twee situaties van neerslagoverschot.
- 4 Simulatie van de gevolgen van een maatgevende hoogwatergolf met OPPEIL en berekening van de kwel met GELGOM.
- 5 Berekening van de effecten van waterhuishoudkundige maatregelen ter voorkoming van wateroverlast, te weten:
 - a simulatie van onderbemaling van de Pleijpolder;
 - b simulatie van bronbemaling in de wijk Mosterdhof.

De modelberekening wordt stapsgewijs in de volgende sub-paragrafen behandeld.

5.2 Modelschematisatie

Over het modelgebied Westervoort is een netwerk aangebracht van 28 bij 34 knooppunten met een elementgrootte van 100 x 100 m. Bijlage 5.1 geeft een overzicht van het gebied. De maaiveldhoogten van het modelgebied zijn samengebracht op bijlage 5.16. De geohydrologische schematisatie is afgeleid van de in paragraaf 2.3 geïnterpreteerde gegevens en in figuur 5.1 getekend.



Figuur 5.1 Geohydrologische schematisatie van Westervoort

Het ophoogmateriaal (afgegraven grond en zand) is geschematiseerd als de eerste watervoerende laag (WVP1) met een dikte van ca. 1 m. De kD -waarde van dit pakket is over het hele gebied gelijkgesteld aan $kD = 1 \text{ m}^2\text{d}^{-1}$.

De overige geohydrologische parameters die in figuur 5.1. zijn aangegeven, zijn al vermeld in paragraaf 3.3 over de geohydrologie. Bijlage 5.2 geeft een computerplot van de kD -waarden van de tweede watervoerende laag. De plot in bijlage 5.3 toont de c -waarden van de beide weerstandbiedende lagen.

De gegevens over het oppervlaktewater zijn verkregen van het polderdistrict Rijn en IJssel. De relevante waterlopen in het modelgebied zijn geschematiseerd tussen de knooppunten (bijlage 5.1).

Uit het overzicht van waterhoogten en afvoeren (RWS, 1985) is een hoogwatergolf geselecteerd uit de periode 28-1-1980 tot en met 28-2-1980 bij meetstation Westervoortbrug met een gemiddelde frequentie van optreden van 1x per 5 jaar.

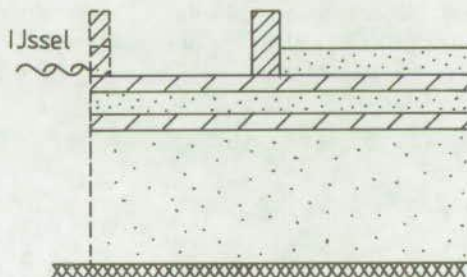
Bijlage 5.4 geeft het verloop in de tijd van deze hoogwatergolf.

5.3 Berekening gemiddelde situatie

Ten behoeve van de berekening van de effecten van neerslag en hoog water op het freatisch niveau (= stijghoogte van WVP1) is in eerste instantie de gemiddelde situatie bepaald, gebaseerd op:

- 1 mm neerslag per dag
- waterlopenstelsel
- gemiddelde IJsselstanden
- gemiddelde grondwaterstanden van een aantal grondwaterstandsmeetpunten (zie bijlage 5.5).

De plot in bijlage 5.5 geeft een overzicht van de grondwaterstanden in de gemiddelde situatie met daarin drie isohypsen getekend. In evenwichtstoestand gelden deze ook voor WVP2 en WVP3. In figuur 5.2 is de gemiddelde situatie schematisch afgebeeld. De situatie leidt, gezien de stijghoogten en maaiveldhoogten, niet tot grondwateroverlast.

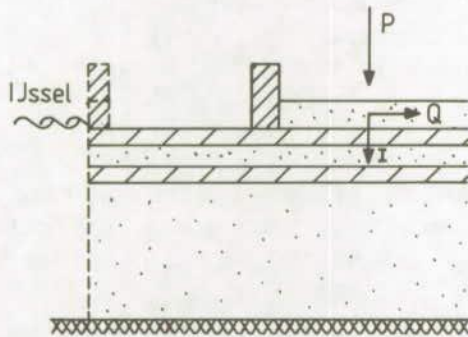


Figuur 5.2 Schema modelberekening gemiddelde situatie

5.4 Berekening effecten van neerslag

Een extreme situatie is gerealiseerd door een stationaire neerslag aan te nemen van respectievelijk 7 mm d^{-1} . De stijghoogten bereiken een evenwichtstoestand zodat deze hoeveelheden ook weer worden afgevoerd.

De ontwerpafvoer van 7 mm d^{-1} , gekoppeld aan een ontwaterings-eis van 0.50 m, is een drainagecriterium uit de landbouw, maar tevens geldig voor tuinen en parken in stedelijke gebieden. De isohypsen op de plot in bijlage 5.7 geven gebieden aan waar hoge grondwaterstanden voorkomen ten tijde van stationaire neerslag van 7 mm d^{-1} . Figuur 5.3 is een geschematiseerde weergave van deze situatie.



Figuur 5.3 Schema modelberekening stationaire neerslag (7 mmd^{-1})

Gelet op de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket is de afwatering van de secundaire watergangen blijkbaar onvoldoende, want volgens de modelberekening bij een stationaire neerslag van 7 mm d^{-1} staat de grondwaterstand in grote gebieden 0.30 tot 0.10 m beneden het maaiveld en staat het maaiveld blank in enkele kleinere gebieden.

Hierbij moet echter worden aangetekend dat:

- neerslag op een verhard oppervlak weinig of geen aandeel levert aan de grondwateraanvulling
- de schematisatie van de bodemopbouw voor stedelijke detailsituaties (geroerde grond, verschillende ophoogmaterialen, al of niet doorbroken afsluitende lagen, damwanden) een zeer grove benadering is
- invoer van geohydrologische parameters vaak gebaseerd zijn op aannames
- geen rekening is gehouden met stedelijke detailontwatering (drainage).

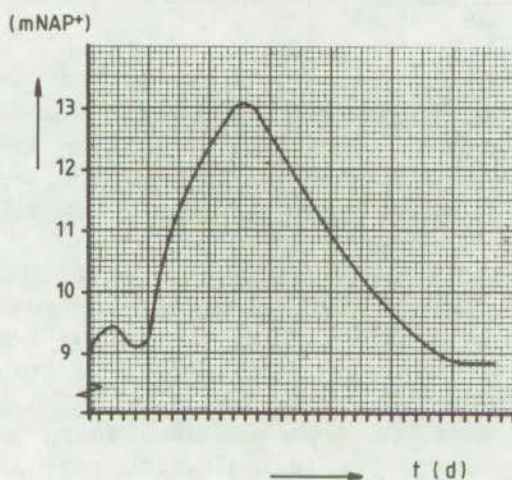
5.5 Berekening effecten van hoogwatersituatie

Met behulp van de betrekkelingslijnen voor de IJssel is het rivierpeil bij Westervoortbrug (ter hoogte van het beginpunt van de raai (zie bijlage 5.1)) afgeleid van het peil bij meetstation IJsselkop (NAP+ 13.30 m).

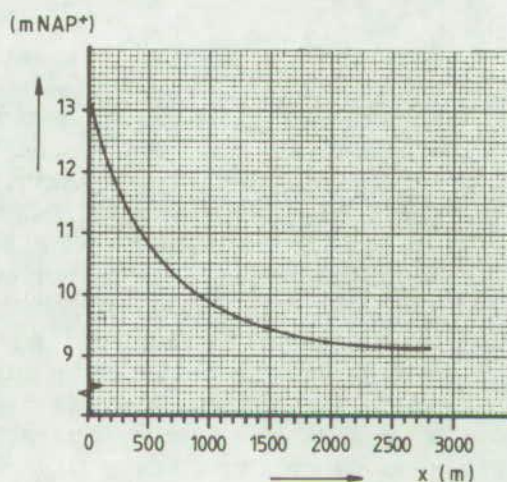
Eerstgenoemd peil bedraagt NAP+ 13.10 m, een waterhoogte die gemiddeld 1 dag per jaar voorkomt. De overschrijdingsfrequentie van deze afvoergolf bedraagt 1 x per 5 jaar.

Met model OPPEIL is het verloop van de golf in de raai berekend, waarbij is uitgegaan van een kD_3 van $800 \text{ m}^2\text{d}^{-1}$ en een bergingscoëfficiënt van 0.06. In figuur 5.4 en 5.5 is de waargenomen hoogwatergolf en de voortplanting ervan loodrecht op de IJssel weergegeven.

Bijlage 5.8 toont de berekeningsresultaten met OPPEIL. Daarbij is horizontaal de afstand tot de rivier uitgezet en verticaal de tijdstappen (dagen) vanaf 28-1-1980.



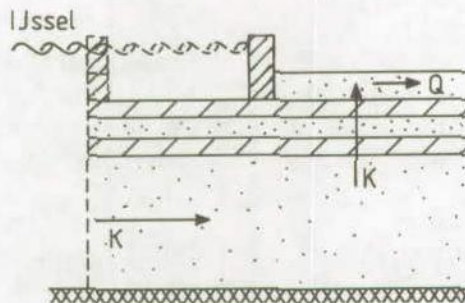
Figuur 5.4
Hoogwatergolf Westervoortbrug
28-1-1980 tot en met 28-2-1980



Figuur 5.5
Berekende maximaal optredende
grondwaterstanden loodrecht op
de IJssel

De aldus berekende grondwaterstanden zijn vervolgens gesuperponeerd op de stijghoogte van WVP3 in de gemiddelde situatie (zie paragraaf 5.3 en bijlage 5.6). Dat wordt getoond in de plot van bijlage 5.9, de stijghoogte in WVP3 ten gevolge van de hoogwatergolf. De volgende plot in bijlage 5.10 geeft een overzicht van de toename van de stijghoogte in WVP3.

Met behulp van GELGOM worden uiteindelijk de effecten op de bovenliggende pakketten uitgerekend, namelijk de toename van de stijghoogte van het ondiepe grondwater (bijlage 5.11) als gevolg van de kwel (bijlage 5.12). In figuur 5.6 is deze hoogwatersituatie geschematiseerd weergegeven.



Figuur 5.6 Schema modelberekening hoogwatersituatie

5.6 Berekening effecten van waterhuishoudkundige maatregelen

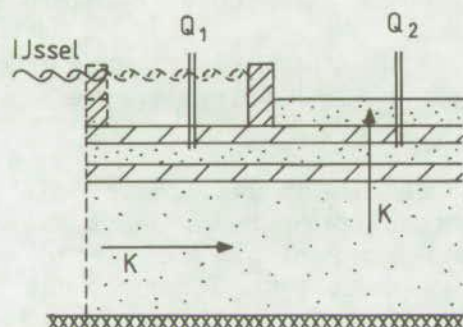
Bemaling van de Pleijpolder

In de Pleijpolder is een afwateringsstelsel aanwezig, dat met eenemaal met een capaciteit van $26.000 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ (Q_1) bemalen kan worden. In GELGOM is de invloed van peilbeheersing in de Pleij niet zonder kunstgrepen te modelleren, aangezien de hoogwatergolf als randvoorwaarde is ingevoerd.

De bemaling is daarom gesimuleerd met behulp van 26 onttrekkingen van elk $1000 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ in het tweede watervoerend pakket (zie voor situering bijlage 5.1). Er kan een te gunstig beeld van de stijghoogteafname ontstaan omdat een deel van de waterlopen niet in dit pakket is ingegraven.

Uitgaande van een peilverschil van 3.5 m is een berekening uitgevoerd van de afname van de stijghoogte in het derde watervoerend pakket. De lijnen van gelijke verlaging zijn in de plot van bijlage 5.13 ingetekend. Vergelijking van deze plot met de stijghoogtetoeename in het derde watervoerend pakket als gevolg van de hoogwatergolf (bijlage 5.10) toont aan dat de afname door bemaling groter is dan de toename door de hoogwatergolf. De hoogwatergolf is dus af te vangen.

Eenzelfde exercitie is verricht bij een onttrekking van $6.500 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ ($= 26 \times 250 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$). Bijlage 5.14 geeft de resultaten hiervan. Vergelijking van de plot van bijlage 5.14 met de stijghoogtetoeename (bijlage 5.10) laat zien dat deze onttrekking van 6500 m^3 niet in staat is de gewenste kwelvermindering te realiseren. Figuur 5.7 is een geschematiseerde weergave van deze situatie.



Figuur 5.7 Schema modelberekening waterhuishoudkundige maatregelen

Grondwateronttrekking in de wijk Mosterdhof

Een aantal klachten over wateroverlast waren afkomstig uit de wijk Mosterdhof. Een van de voorgestelde maatregelen ter voorkoming van kwel is het plaatsen van een diepwelpomp in het tweede watervoerende pakket (zie bijlage 5.1 voor de locatie). De gevolgen van een onttrekking Q_2 van $7.500 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$ midden in de wijk zijn met GELGOM berekend en geplot in bijlage 5.15. Vergelijking van deze plot met die van bijlage 5.10, de stijghoogte-toename in het derde watervoerend pakket als gevolg van de hoogwatergolf, leert dat ook hier de effecten van de hoogwatergolf zijn te compenseren met een onttrekking. Voor deze situatie is hetzelfde schema van toepassing als in figuur 5.7.

5.7 Conclusies modelberekening GELGOM/OPPEIL

De indicatieve waarde, die aan deze modelberekening toegekend moet worden, toont aan dat problemen zich sterker voordoen bij stationaire neerslag dan bij een stationaire hoogwaterstand van de IJssel, die gemiddeld 1 x per 5 jaar wordt overschreden.

Een aantal voorgestelde alternatieve maatregelen ter voorkoming van wateroverlast vergt nog nadere studie. De door te rekenen situaties zijn (uitgaande van 7 mm d^{-1} neerslag en 50% van de oorspronkelijke berekende kwel):

- 1 bemaling van Pleijpolder met onttrekking van $26.000 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$
- 2 bemaling van Pleijpolder, gecombineerd met drie diepwelpompen, geplaatst in gebieden waar de plot van bijlage 5.7 een grondwaterstand aangeeft van NAP+ 10.75 m
- 3 Idem, als situatie 2, echter met 2 diepwelpompen in het noordelijk en zuidelijk deel van het modelgebied
- 4 Idem, als situatie 2, echter met 1 diepwelpomp in het middelste gebied.

Het lijkt echter weinig zinvol de voorgestelde maatregelen alsnog door te rekenen. De invloeden van dergelijke onttrekkingen zijn voorspelbaar; bovendien is het gevaar van zakking van de bodem en ongelijke zettingen van op staal gefundeerde bebouwing, waardoor scheuren ontstaan, aanwezig.

Primair zal dus naar oplossingen in de vorm van drainage moeten worden gezocht in de stedelijke gebieden om de neerslag als frequent voorkomend verschijnsel af te voeren.

Bemaling van de Pleijpolder gedurende een hoogwatergolf, die per jaar slechts een beperkt aantal dagen optreedt is daarnaast een effectieve maatregel. Uit frequentieberekeningen en eerder verricht onderzoek (Grontmij, 1983 a) is te concluderen, dat als een polderpeil van NAP+ 10.00 m wordt nagestreefd, gemiddeld 3 x per jaar gedurende 10 dagen bemalen zal moeten worden. Deze situatie doet zich voor vanaf een waterstand bij meetpunt IJsselkop van ca. NAP+ 10.75 m.

De GELGOM-resultaten zijn niet altijd overeenkomstig de werkelijkheid. Reden hiervan is de complexiteit van de geohydrologische opbouw, die niet zo verfijnd is weergegeven in het model, omdat dermate gedetailleerde kennis van het stedelijk gebied niet aanwezig is.

De kwel is in de werkelijk gemeten situatie groter dan in de berekende situatie. Dit is te staven bij vergelijking van de tijdstijghoogtelijn van G8 (bijlage 4.3) met de GELGOM-plot in bijlage 5.10 tijdens een hoogwatergolf. De meting vertoont een fluctuatie van ca 1 m, de stijghoogtetoenname van de berekening geeft echter ter plaatse van coördinaat (22,6) een waarde aan van 0.22 m. Dat de kwel en derhalve de stijghoogte verder landinwaarts groter is dan berekend is dus duidelijk. Het doorlaatvermogen van het derde watervoerend pakket is veel groter dan de uit literatuur verkregen KD-waarde van $800 \text{ m}^2 \text{d}^{-1}$.

LITERATUURLIJST

- Aelmans, F.G. (1981)
Grondwaterkaart van Nederland: Arnhem-west
Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft
- Boere, E.N. en G.D. Geldof (1986)
Grondwaterproblematiek in stedelijke gebieden
Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad
- Borreman, N. en N. Geertse (1984)
Als het regent houden wij ons hart vast
Publikatiereeks Civiele Planologie nr. 7
Technische Hogeschool Delft, Delft
- Broeke, M.J.D. ten (1987)
Modellering van grondwaterstroming en -kwaliteit
provincie Gelderland, Arnhem
- Buishand, T.A. en Velds, C.A. (1980)
Klimaat van Nederland 1; Neerslag en Verdamping,
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt
- Gespreksgroep Hydrologische Terminologie (1986)
Verklaring hydrologische woordenlijst
Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 's-Gravenhage
- Grontmij (1966)
Bodemkundig rapport uitbreidingsplan Westervoort, o.n. 64/4369
Grontmij n.v., De Bilt
- Grontmij (1970)
Bodemgesteldheid en ontwatering Vredenburgse Veld, concept-
rapport, o.n. 68/3593-05
Grontmij n.v., De Bilt
- Grontmij (1971)
Intergemeentelijk Structuurplan Duiven-Westervoort, aanvullend
bodemkundig en hydrologisch onderzoek, o.n. 68/3593-04
Grontmij n.v., De Bilt
- Grontmij (1978)
Financieel-economische plananalyse van de bestemmingsplannen
Leigraaf, Lange Maat en Hoogeind, concept-rapport
Grontmij n.v., Arnhem
- Grontmij (1983 a)
Drainageplan Hoogeind te Westervoort, concept, o.n. 33589
Grontmij n.v., De Bilt

Grontmij (1983 b)

 Detaillering drainageplan Hoogeind te Westervoort, o.n.

 83/33589

 Grontmij n.v., De Bilt

Jager, A.W. de (1985)

 Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden

 Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 658

 Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie,

 Wageningen

Kremers, G.J. (1987)

 Juridische aspecten bij grondwaterbeheer

 in: Weg en Water nr. 3

 Misset, Doetinchem

Molen, W.H. van der (1979)

 Waterbeheersing 1 en 2

 Collegediktaat Cultuurtechniek

 Landbouwhogeschool, Wageningen

Nes, Th.J. van de (1966)

 Beschouwingen over de in Amerika, Frankrijk en Nederland toe-
 gepaste en in ontwikkeling zijnde ontwateringscriteria

 Ingenieursonderzoek Cultuurtechniek

 Landbouwhogeschool, Wageningen

O'Herne, Th. (1984)

 Het grondwater- en oppervlaktewater model "GELGOM"

 Ingenieursscriptie Landbouwhogeschool

 provincie Gelderland, Arnhem

Provincie Gelderland (1986)

 Grondwaterplan 1987-1995

 provincie Gelderland, Arnhem

Rijkswaterstaat (1985)

 Tienjarig overzicht der waterhoogten, afvoeren en watertempe-
 raturen 1961-1970

 Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, 's-Gravenhage

Segeren, W.A. en H. Hengeveld (1984)

 Bouwrijp maken van terreinen

 Stichting Bouwresearch 99

 Kluwer, Deventer

Stichting voor Bodemkartering (1977)

 Toelichting bij kaartblad 40 Oost, Arnhem

 Stiboka, Wageningen

Overzicht van figuren

- 2.1 Uitbreidingsplannen van Westervoort in volgorde van ontwikkeling
- 2.2 Geologisch profiel door het gebied van de westelijke Liemers
- 2.3 Afwateringssituatie van de gemeente Westervoort voor de uitbreidingen
- 2.4 Waterlopenstelsel van de gemeente Westervoort (1964)
- 2.5 Infrastructuur van de afwatering van de gemeente Westervoort (1987)
- 3.1 Grondwaterstroming in stedelijk gebied
- 3.2 Drainagesysteem met factoren uit de drainageformule van Hooghoudt
- 3.3 Frequentiediagram van Zeilmaker
- 4.1 Situering boorpunten en peilbuizen
- 4.2 Correlatiediagram stambuis F4-afgeleide buis E4
- 4.3 Gebiedsindeling op basis van waterhuishoudkundige kenmerken
- 4.4 Situering geselecteerde stambuizen en de daaraan gerelateerde grondwaterstandsm Meetpunten
- 5.1 Geohydrologische schematisatie van Westervoort
- 5.2 Schema modelberekening gemiddelde situatie
- 5.3 Schema modelberekening stationaire neerslag (7 mm d^{-1})
- 5.4 Hoogwatergolf Westervoortbrug 28-1-1980 t/m 28-2-1980
- 5.5 Berekenende maximaal optredende grondwaterstanden loodrecht op de IJssel
- 5.6 Schema modelberekening hoogwatersituatie
- 5.7 Schema modelberekening waterhuishoudkundige maatregelen

Overzicht van tabellen

- 2.1 Aspecten Met betrekking tot bouwrijp maken van de respectievelijke uitbreidingsplannen van de gemeente Westervoort
- 3.1 De drainagecriteria voor de verschillende bestemmingen in een stedelijk gebied
- 3.2 Grondwaterstanden boven drainniveau bij ontwerpafvoer van 5 mm d^{-1} en ontwateringsdiepte van 0.70 m-mv
- 3.3 Waarden voor s/m in stationaire en in niet-stationaire berekeningen bij verschillende draandiepten
- 4.1 Overschrijdingsfrequentie en gemiddelde overschrijdingsduur van waterstanden te IJsselkop
- 4.2 Stijghoogten in Westervoort gedurende de hoogwatergolf (24-01-86)
- 4.3 Stijghoogten in Westervoort na intensieve neerslag (16-01-86)
- 4.4 Correlatie-matrix diepe peilbuizen
- 4.5 Geselecteerde stambuizen met daaraan gerelateerde meetlokaties

Overzicht van bijlagen (in aparte kافت)

- 1.1 Inventarisatie van klachten m.b.t. wateroverlast
- 2.1 Geohydrologisch profiel ter hoogte van Westervoort
- 4.1 Neerslag en verdamping "Westervoort" (10/84 t/m 2/87)
- 4.2 Waterstanden IJsselkop (10/84 t/m 2/87)
- 4.3 Tijd-stijghoogtelijnen van peilbuizennetwerk Westervoort
- 4.4 Boorstaten en doorlatendheidsmetingen
- 4.5 Lengteprofielen 1 t/m 7 van bodem en stijghoogte in het netwerk over Westervoort
- 4.6 Isohypsenpatronen van het watervoerend pakket (figuren 1 t/m 6)
- 4.7 Situering boorpunten en peilbuizen
- 5.1 Modelgebied Westervoort in netwerk (28 x 34)
- 5.2 KD-waarden van de 2e watervoerende laag
- 5.3 C-waarden van de beide weerstandbiedende lagen
- 5.4 Waterstanden te Westervoortbrug (jan. t/m mei 1980)
- 5.5 Gemiddelde grondwaterstanden van een aantal meetpunten van DGV-TNO
- 5.6 Stijghoogten WVP 1 in gemiddelde situatie (1 mm d^{-1})
- 5.7 Stijghoogten WVP 1 ten gevolge van neerslag (7 mm d^{-1})
- 5.8 Resultaten berekening met model OPPEIL
- 5.9 Stijghoogten WVP 3 t.g.v. hoogwatergolf
- 5.10 Stijghoogte-toename WVP 3 ten gevolge van hoogwatergolf
- 5.11 Stijghoogte-toename WVP 1 ten gevolge van hoogwatergolf
- 5.12 Debiet weerstandbiedende lagen ten gevolge van hoogwatergolf
- 5.13 Stijghoogte-afname WVP 3 ten gevolge van bemaling Pleijpolder van $26000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
- 5.14 Stijghoogte-afname WVP 3 ten gevolge van bemaling Pleijpolder van $6500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
- 5.15 Stijghoogte-afname WVP 3 ten gevolge van bronnering Mosterdhof van $7500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
- 5.16 Maaiveldhoogten van het modelgebied

coll. afd.

code: 1/mc/ez/0221V/61

13.11.87

