Hydrologisch vooronderzoek Doorwerthsche Waarden

In opdracht van:

Geldersch Landschap

Geldersche Kasteelen

Colofon

Onderzoek in opdracht van:

Geldersch Landschap

Geldersche Kasteelen

Geldersch Landschap en Geldersche Kasteelen
Postbus 7005
6801 HA Arnhem
Telefoon: (026) 355 25 55
www.mooigelderland.nl

Met medewerking van:

WATERSCHAP Vallei&Eem

Waterschap Vallei en Eem
Postbus 330
3830 AJ Leusden
Telefoon 033 - 43 46 000
Fax 033 - 43 46 300
www.wve.nl

Uitgevoerd door:

Buro Hemmen
adviseurs natuurbeheer en ecologie

Randwijkse Rijndijk 22, 6668 LM Randwijk
tel: 0488 420 204; fax: 0488 420 562
email: info@burohemmen.nl
www.burohemmen.nl

Fotoverantwoording:
De foto's in dit boekje zijn gemaakt door Buro Hemmen, bijna alle in het projectgebied

Topografische ondergrond kaartjes:
© Topografische Dienst

Stuwtje langs de Fonteinallee

Inhoud

Colofon **2**

Inhoud **3**

1 Inleiding **5**
1.1 Aanleiding: verdroging en vermesting 5
1.2 Het studiegebied 6

2 Het gebied **7**
2.1 Topografie 7
2.2 Geologie en bodemopbouw 8
2.2.1 Uiterwaarden 8
2.2.2 Stuwwal en sandr 9
2.3 Waterhuishouding 11
2.3.1 De Rijn 11
2.3.2 Oppervlaktewater in de uiterwaarden 14
2.3.3 Bronnen en kwel 22
2.3.4 Grondwater 25
2.3.5 Waterkwaliteit 32
2.4 Levensgemeenschappen 34
2.4.1 Flora en vegetaties 34
2.4.2 Dierenleven 36
2.4.3 Watermacrofauna 37

3 Hydrologisch veldonderzoek **41**

2084689

3.1 Onderzoek debieten beken 41
3.2 Onderzoek grondwaterrelatie tussen Rijn en uiterwaarden 42
3.3 Inventarisatie bronnen, kwel en waterhuishoudingssysteem 44

4 Meetresultaten 45
4.1 Debieten 45
4.2 Peilgegevens 48

5 Oplossingsrichtingen 53
5.1 Grondwaterafhankelijke vegetaties 53
5.2 Verhoging waterpeil gracht 54
5.3 Mogelijkheden voor wateraanvoer 55
5.4 Alternatieven 57
5.5 Afweging 59
5.6 Keuze 59

Literatuur 60

Bijlage 1 Metagegevens peilpunten 61
5.7 Peilschaal 1 61
5.8 Peilbuis 2.1 Veerweg zomerkade 62
5.9 Peilbuis 2.2 Veerweg boerderijheuvel 63
5.10 Peilbuis 2.3 Veerweg Kasteel 64
5.11 Peilbuis 2.4 Veerweg sluis Leigraaf 65
5.12 Peilbuis 3.1 Leigraaf, rand maisland 66
5.13 Peilbuis 3.2 Leigraaf, naast toegangshek in de sloot 67
5.14 Peilbuis 3.3 Leigraaf, zuidelijk van toegangshek weiland 68
5.15 Peilbuis 3.4 Weiland bij stuw: bronbuis van weilandpompje 69
5.16 Peilbuis 3.5 Weiland bij stuw, in de hoek bij de sluis 70
5.17 Peilbuis 3.6 in elzenbosje met kwel oostelijk van de stuw 71

1 Inleiding

1.1 Aanleiding: verdroging en vermesting

Kasteel Doorwerth is gelegen aan de Fonteinallee. Deze straatnaam spreekt al boekdelen. Hoewel de meningen verdeeld zijn over de vraag of er daadwerkelijk sprake is geweest van een omhoog spuitende fontein, is het een feit dat er onder langs de stuwwal van Doorwerth op vrij grote schaal bronnen en beekjes aanwezig zijn.
De Dunobeek is benut voor de aanleg van het park bij het gelijknamige landgoed en de Seelbeek stroomt langs Heveadorp naar de Rijn. Mogelijk heeft de Dunobeek vroeger gediend voor de watervoorziening van het kasteel. Er zijn restanten van een leidingstelsel gevonden bij de huidige uitstroom van de Dunobeek in de Leigraaf.

Er zijn aanwijzingen dat zowel de Dunobeek als de Seelbeek vroeger meer water voerden. De belangrijkste verdroging vinden we echter onder aan de stuwwal: de uiterwaarden en met name de contactzone tussen stuwwal en uiterwaard is ernstig verdroogd.
Een belangrijke oorzaak daarvan is waarschijnlijk de stuw in de Rijn bij Driel, slechts 1 km stroomopwaarts van Kasteel Doorwerth. Aangezien de stuw grofweg de helft van het jaar water tegenhoudt, heeft dit geleid tot een (gemiddeld) hogere waterstand bovenstrooms ervan en een lagere waterstand benedenstrooms.
Gedurende perioden met geringe afvoer (dus vooral 's zomers en in het najaar) wordt zo een kunstmatig hoogteverschil aangehouden van ca. 2,30 meter. Dit uit zich niet alleen in het droogvallen van de slotgracht gedurende een groot deel van het jaar, waarschijnlijk zet zich de verdroging voort in de stuwwal, waar de grondwaterstroming veel minder dan vroeger de oppervlakte bereikt.
Ook kwelplekken verder naar het westen zijn er minder.
Daarnaast wordt ook de verdroging van de Veluwe en de Betuwe als gevolg van versnelde waterafvoer en wateronttrekkingen voor drink- en industriewater genoemd als oorzaken.

Doelstelling en opties

Dit onderzoek dient om mogelijkheden te verkennen om weer grondwater-afhankelijke vegetaties te ontwikkelen langs de stuwwalrand en in de uiterwaarden, niet alleen bovenstrooms van de stuw, maar ook benedenstrooms. Daarnaast is er een oude wens om de gracht van het kasteel weer het hele jaar watervoerend te maken. Op dit moment staan grote delen van de gracht gedurende een groot deel van het jaar min of meer droog.

Voor verhoging van de waterpeilen zijn verschillende opties:
- benut het water van de Dunobeek voor bevloeiing van terreinen
- benut het water van de Dunobeek voor het op peil houden van de slotgracht
- beleem de Dunobeek, zodat meer bronwater het kasteel bereikt
- benut water van de Seelbeek voor één of beide doelen
- benut het potentiaalverschil over de stuw voor het genereren van kwel en eventueel een kwelstroom naar het westen
- voer rechtstreeks water van boven de stuw toe aan de kasteelgracht

- pomp water op voor het op peil houden van de gracht
- sla een arthesische bron in de voet van de stuwwal bij het kasteel
- beleem de slotgracht

Behalve voor de natuur kan een zekere toevoer van water in droge tijden ook voor de landbouw waarde hebben.

Dit onderzoek is gefinancierd met geld van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN). Het is aangevraagd door Stichting Het Geldersch Landschap en Geldersche Kasteelen. Bij de uitvoering is nauw samengewerkt met Waterschap Vallei en Eem.

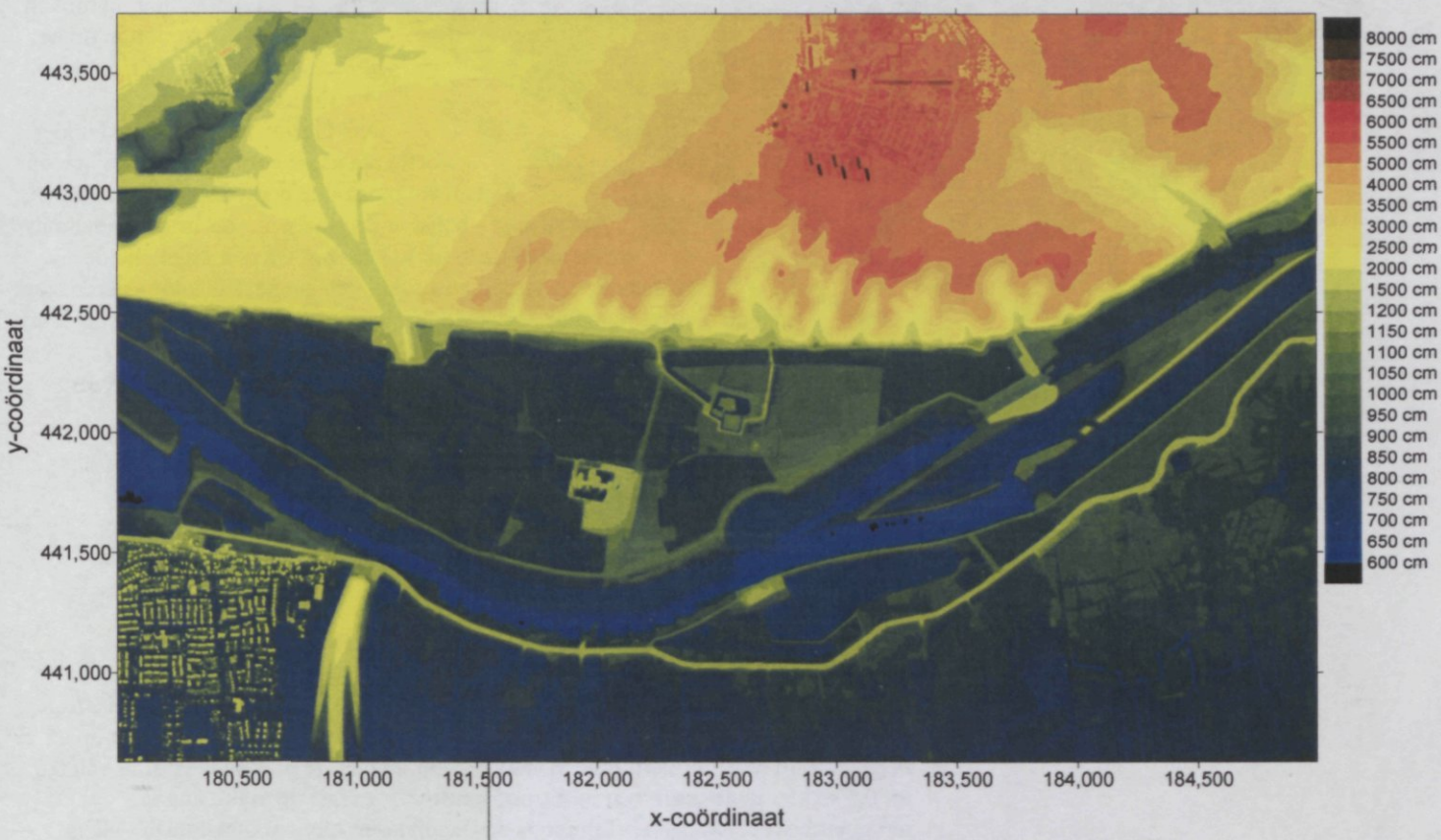
1.2 Het studiegebied

Het onderzoek richt zich op het oostelijk deel van de Doorwerthsche Waarden, dat wil zeggen het gebied ten oosten van de snelweg A50. Aan de westzijde loopt het

door tot de uitstroom van de Seelbeek, maar in een deel van het onderzoek is daar ook de uitstroom van de Leigraaf in de Rosandepolder nog bijgenomen, zo'n 500 m verder naar het oosten. Deze valt net buiten de meeste kaartjes.

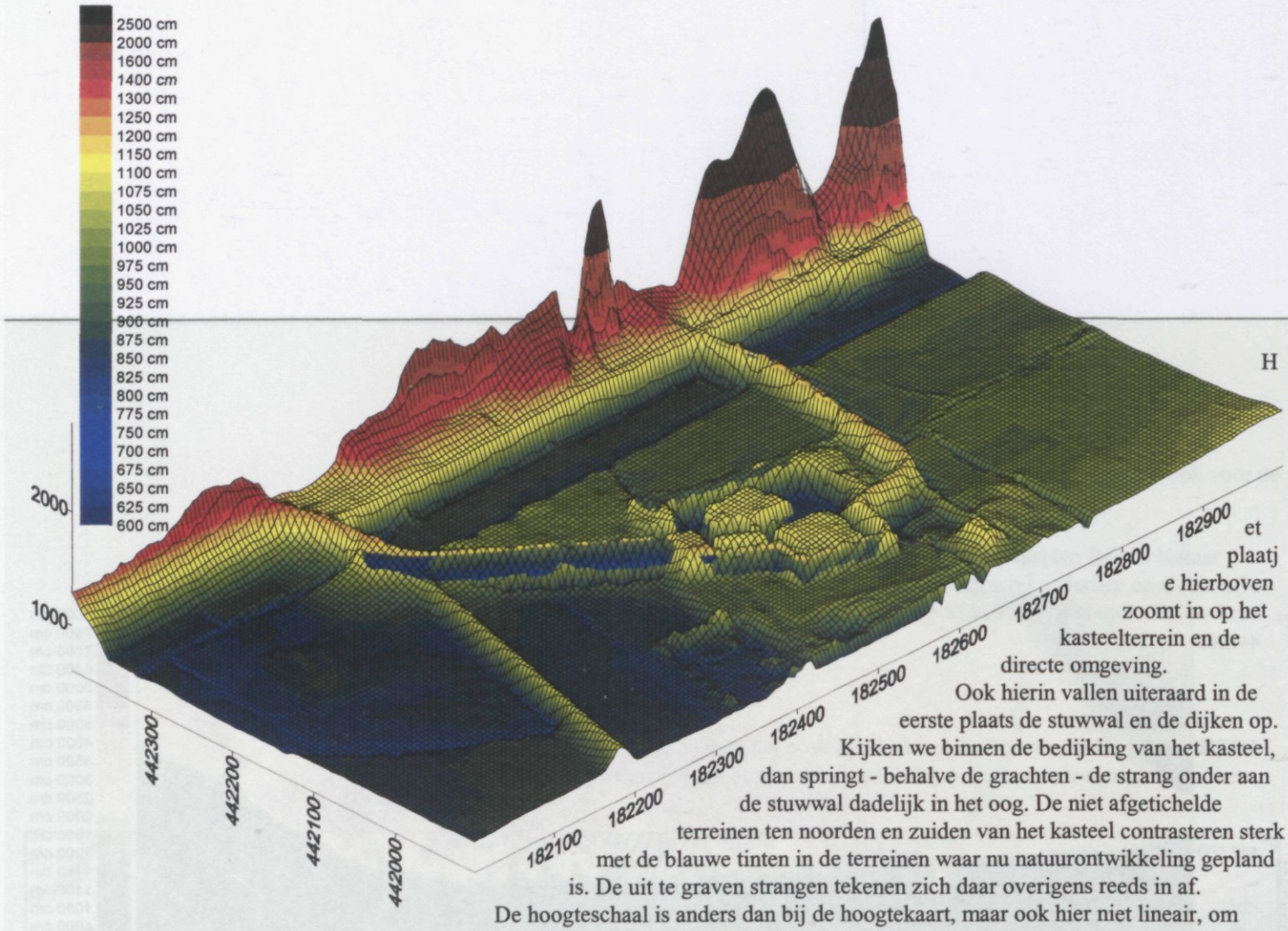
2 Het gebied

2.1 Topografie



Het bovenstaande kaartje geeft een beeld van de hoogteligging van de verschillende terreindelen. Let op: de schaal is niet lineair, om zoveel mogelijk relevante details te tonen. Het verschil tussen de stuwwal in gele en roodachtige tinten en de uiterwaarden groene en blauwe is daarbij zeer in het oog springend.
Toch zijn ook binnen de uiterwaarden interessante hoogteverschillen te zien. Met name de hogere delen springen er uit als lichte vlekken (>10 m+NAP):

- de terreinen bij het stuwcomplex (kunstmatig opgehoogd)
- de zomerkade
- de terreinen zuidoostelijk van het kasteel (in het midden van de kaart). Deze terreinen vormen nog het enige gedeelte in de Doorwerthsche Waarden met een onvergraven maaiveld. De hoogteligging is 9,50 - 11,00 m+NAP. Opvallend is ook de strang parallel aan de voet van de stuwwal.
- het kasteelterrein
- de steenfabriek
- de terreinen meteen ten oosten van de steenfabriek. Deze zijn inmiddels ontkleid en zouden dus geheel in donkere tinten moeten worden weergegeven.



H

et plaatje hierboven zoomt in op het kasteelterrein en de directe omgeving.

Ook hierin vallen uiteraard in de eerste plaats de stuwwal en de dijken op. Kijken we binnen de bedijking van het kasteel, dan springt - behalve de grachten - de strang onder aan de stuwwal dadelijk in het oog. De niet afgetichelde terreinen ten noorden en zuiden van het kasteel contrasteren sterk met de blauwe tinten in de terreinen waar nu natuurontwikkeling gepland is. De uit te graven strangen tekenen zich daar overigens reeds in af.

De hoogteschaal is anders dan bij de hoogtekaart, maar ook hier niet lineair, om verschillen in de uiterwaarden beter tot uiting te brengen.

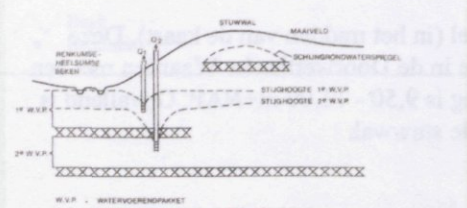
2.2 Geologie en bodemopbouw

2.2.1 Uiterwaarden

De bovenlaag van de bodem is op de meeste plaatsen sterk beïnvloed door kleiwinning voor de steenfabricage, die hier al honderden jaren plaatsvindt. Daardoor vormt de Betuwe-formatie (Holocene rivierafzettingen) op veel plaatsen een veel minder dikke laag dan mogelijk zou zijn. De maximale dikte wordt op ca. 5 m gesteld. In de Doorwerthsche Waarden is op de meeste plaatsen een laag van 0,3 tot 0,5 m klei in de vorm van roofgrond aanwezig, die na de ontkleiing is teruggeschoven. De geomorfologie is op die plaatsen meestal onnatuurlijk vlak, waarbij soms aan de randen van de percelen een geleidelijke verhoging naar het oorspronkelijke maaiveld is te constateren.

Op plaatsen waar geen kleiwinning heeft plaatsgehad is de kleilaag doorgaans zo'n 2 m dik, maar dicht bij de rivieroever meer. Daar vindt men echter ook zandige lagen in de daar aanwezige stroomrugafzettingen. De Betuwe-formatie is door de Rijn(takken) afgezet gedurende het Holoceen, ca. 10.000 jaar geleden tot heden. Dat gebeurde in relatief rustige omstandigheden, waardoor een tamelijk gelijkmatige sedimentatie optrad en veel klei tot bezinking kon komen.

Onder de Formatie van de Betuwe vindt men lagen met zand en fijn tot minder fijn grind. Deze lagen zijn afgezet in de tijd dat de Rijn een vlechtend riviersysteem was en een onregelmatige afvoer had in doorgaans veel koudere klimaten (Pleistoceen). Het zijn de Formatie van Kreftenheye (na de laatste IJstijd (Saalien)) en de Formatie van Urk (vóór het Saalien). Ze komen voor tot ca. 40 m beneden maaiveld. Deze formaties samen worden beschouwd als het eerste watervoerende pakket. Het heeft een doorlaatvermogen van 50 - 2500 m^2/dag (Dienst Waterbeheer Gelderland, 1983).



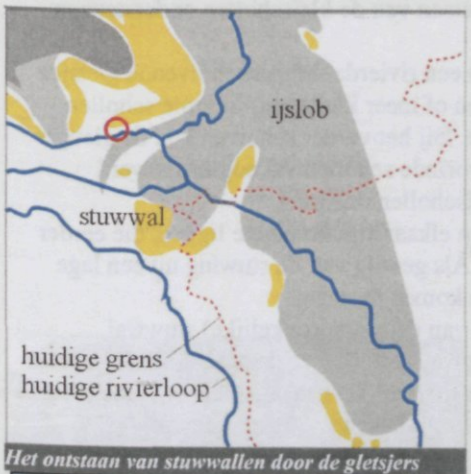
Figuur 12
WEST - OOST DOORSNEDE VAN DE ZUID - VELUWE (SCHEMATISCH)

ontleend aan Kant, 1982

Daaronder vindt men doorgaans de Formatie van Kedichem, een slechtdoorlatende laag. Ook die is afgezet door voorlopers van de Rijn, maar dan in een relatief rustig milieu en bevat dan ook lagen met klei en fijn zand. Niet overal is deze laag echter aansluitend aanwezig. Hij heeft bovendien een sterk wisselende weerstand van 50 tot meer dan 3.000 dagen. Plaatselijk komt ook de Formatie van Drente (keileem) voor als slechtdoorlatende laag.

Nog dieper komt men opnieuw in een watervoerend pakket (het tweede): de Formatie van Harderwijk, eveneens afgezet in onstabiele omstandigheden (IJstijden). Dit heeft een wat groter doorlaatvermogen dan het eerste watervoerend pakket: 1500 - 3400 m^2/dag (Dienst Waterbeheer Gelderland, 1983). Mede daardoor is de grondwaterstand (potentiaal) in het tweede watervoerend pakket doorgaans wat lager dan in het eerste. Binnen de stuwwal wordt slechts één watervoerend pakket onderscheiden.
Er is doorgaans vrij veel uitwisseling tussen het eerste en tweede watervoerend pakket.
De hydrologische basis van het systeem wordt overal gevormd door de Formaties van Tegelen en Maassluis.

Voor dit onderzoek is (in kwantitatieve zin) vooral het eerste watervoerend pakket van belang, naast de kleischotten in de stuwwal die schijngrondwaterspiegels veroorzaken waaruit de bronnen op en langs de stuwwal gevoed worden.



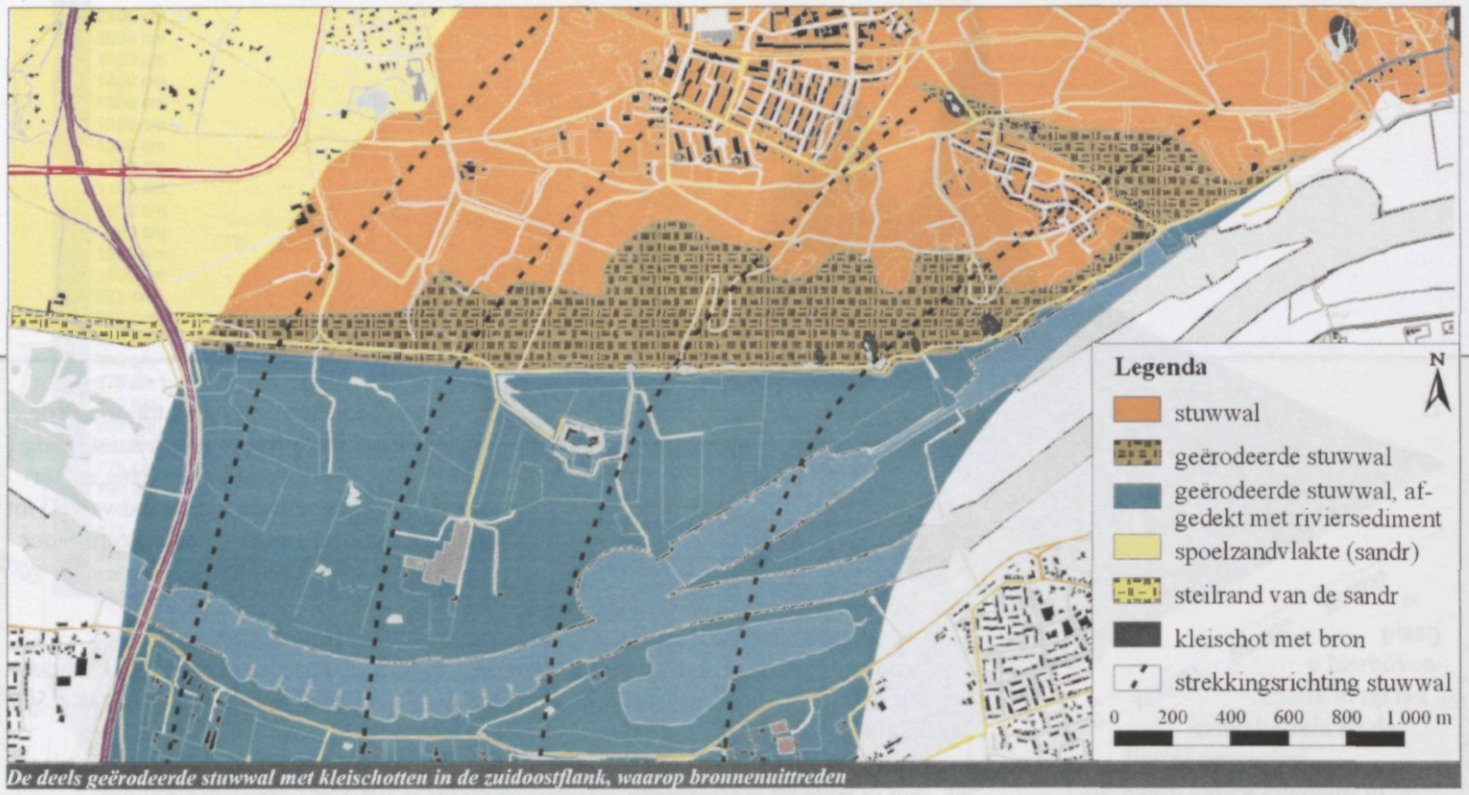
Het ontstaan van stuwwallen door de gletsjers

2.2.2 Stuwwal en sandr

De Formatie van Drente is gevormd door de gletsjers die tijdens het Saalien uit het noorden de rivierdalen inschoven. Dat gebeurde op twee plaatsen: in de Gelderse Vallei werd zo (onder meer) de stuwwal van Ede en Wageningen opgestuwd. In het IJsseldal schoof de hoofdgletsjer nog verder, tot aan Duisburg. Er ontstonden diverse zijlobben naar het westen, naar Kleef, Groesbeek en Driel.
Het Rijnsysteem, dat aanvankelijk door het IJsseldal naar het noorden stroomde, heeft op zeker moment de stuwwal tussen Doorwerth en Nijmegen doorgebroken en zo zijn loop naar het westen verlegd. Zowel bij Nijmegen als bij Doorwerth ontstond daardoor een steile helling, waarin gestuwde pakketten worden aangesneden.
Waar slechtdoorlatende lagen dagzomen ontstonden op een aantal plaatsen bronnen. Alle bronnen in dit gebied zijn daar voorbeelden van.
Ook de bron van de Seelbeek is een voorbeeld van zo'n bronsysteem. Het dal waar de Seelbeek (en Heveadorp) in ligt is waarschijnlijk al ontstaan bij het smelten van het ijs van de gletsjer.
De kleinere ersosiedalen die uitkomen op de Fonteinallee zijn in hoofdzaak pas ontstaan na de doorsnijding van de stuwwal door de Rijn. In erosiedalen zijn onder aan de stuwwal veelal vijvers aanwezig.

De oorspronkelijke stuwwal is dus geërodeerd door de Rijn. Vanaf de Westerbouwing tot aan het stuwcomplex is

Glaciale verschijnselen in Midden-Nederland; *Bron: Atlas van Nederland - avn.geog.uu.nl*



De deels geërodeerde stuwwal met kleischotten in de zuidoostflank, waarop bronnenuittreden

praktisch alleen de voet van de stuwwal geërodeerd, waardoor een steilere helling ontstond, die naar het westen oploopt in hoogte. De stuwwal zelf is daar nog intact. Tussen het stuwcomplex en de A50 is de stuwwal zelf doorsneden. Deze maakte daar een bocht naar het zuiden, dus de Betuwe in.

Op grond van boringen en van het voorkomen van bronnen lijkt het waarschijnlijk dat alleen in de geërodeerde flank van de stuwwal (dagzomende) kleischotten voorkomen. Ook de theorieën over het ontstaan van de kleischotten ondersteunen deze waarnemingen.
De kleischotten zijn ontstaan doordat de in een rivierdal binnenschuivende gletsjer de diepbevroren "terrassen" (met daarin één of meer kleilagen) in grote schollen over de achterliggende bodem opzij duwde. Bij het verder schuiven kon de gletsjer ook breder worden, waardoor de reeds gevormde schollenwal nogmaals werd opgeschoven en er een stapeling van grondschollen ontstond.
Daardoor kunnen meerdere kleilagen boven elkaar zijn komen te liggen, die eerder allemaal tot dezelfde afzetting behoorden. Als gevolg van de stuwing uit een lage richting kunnen ze min of meer schuin zijn komen te staan.
De kleischotten hellen hier af naar de rand van de (oorspronkelijke) stuwwal, waardoor ze als "glijbaan" voor inzijgend grondwater optreden en bij het dagzomen of bij aansnijding bronnen opleveren, langs de rand die naar de gletsjer is toegekeerd geweest. De overwegende stroming van het schijngrondwater zou dan in zuidoostelijke richting zijn.

Dit is waarschijnlijk de belangrijkste reden voor het ontbreken van bronnen in het midden en westen van de Doorwerthsche Waarden.
Hoeveel verschillende kleischotten er in de Doorwerthsche stuwwal aanwezig zijn is moeilijk aan te geven. Uit de verschillende niveau's waarop bronnen ontspringen ter hoogte van de Duno is wellicht af te leiden dat er (minstens) twee lagen aanwezig zijn. Uit de waterstanden tussen het dorp Doorwerth en de Dunobeek (40AP0291, 40AP0292) blijkt eveneens de aanwezigheid van minstens twee schijngrondwaterspiegels.

Vanggebied voor grondwaterstroming in de richting van de aanwezige bronnen

Het aansnijden van grondwaterspiegels kan gebeuren in erosiedalen, zoals de dalen in Oosterbeek en ook het dal van de Seelbeek. Het kan ook gebeuren bij de doorsnijding van de stuwwal door het Rijnsysteem, zoals met de bronnen in het bronnenbosje bij de stuw en de bronnen van de Dunobeek.

Mogelijk wordt op die manier een flink deel van het inzijgende neerslagoverschot

afgevoerd naar de bronnen van Seelbeek en Duno.
Proberen we ons een voorstelling te maken van het maximale vanggebied op dit deel van de stuwwal dan zouden we kunnen veronderstellen dat dit ongeveer de vorm heeft zoals aangegeven op het kaartje. Dit beslaat een oppervlakte van ca. 300 ha.
We veronderstellen verder een neerslagoverschot in dit gebied van ca. 200 mm (veel van het gebied is bedekt met bos en zal een wat lager neerslagoverschot hebben dan open terreinen; ook stedelijk gebied (Doorwerth) loost deels op het riool en zal daarmee minder inzijging geven dan bijvoorbeeld landbouwgebied).
Daarmee ligt de jaarlijkse inzijging op ca. 600.000 m^3. Dit geeft een theoretische beschikbaarheid van water uit bronnen van zo'n 19 L/s.
Een (groot) deel van dit water zal ondergronds afstromen via het eerste watervoerend pakket. Op deze wijze wordt ook de gradiënt in het grondwaterpeil in stand gehouden, die veroorzaakt dat de waterstanden in de uiterwaarden dicht bij de stuwwal aanzienlijk hoger zijn dan in de Rijn (bij stabiele waterstanden in de Rijn ca. 1 m hoger).
Een ander deel zal via de kleischotten bronnen voeden. Uit de debietmetingen blijkt dat dit globaal een kwart van de totale hoeveelheid water is. Aannemende dat de kleischotten vrij goed waterdicht zijn, kan men veronderstellen dat ca. 75 ha vanggebied direct afwatert op de bronnen en beekjes. Dit komt redelijk overeen met het gebied waar daadwerkelijk bronnen en beekjes te vinden zijn. Zo beschouwd komen er waarschijnlijk geen kleischotten voor ten noordwesten van de Italiaanseweg. Dit wordt bevestigd door de metingen in de peilbuizen op de stuwwal.

2.3 Waterhuishouding

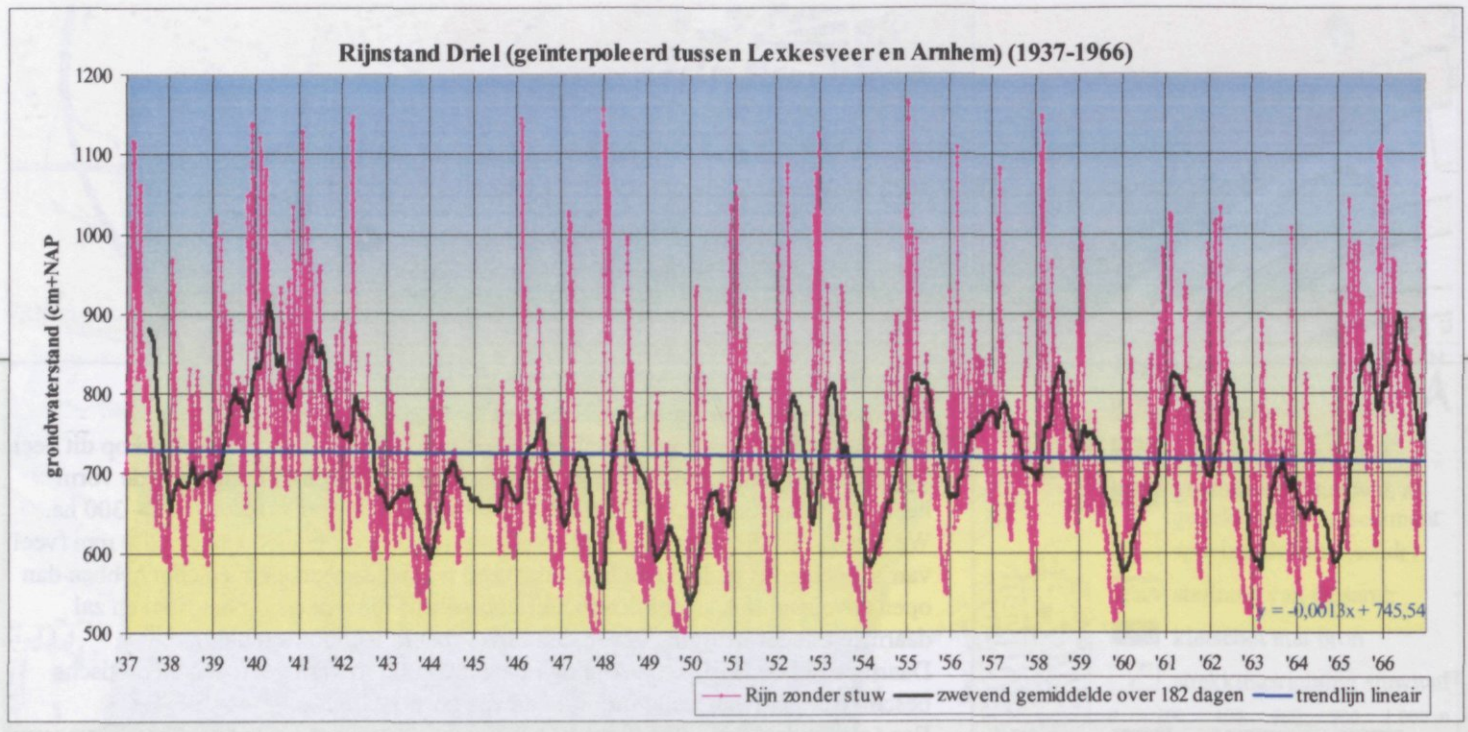
In dit hoofdstuk komen diverse aspecten van het watersysteem aan de orde. Deels zijn ze gebaseerd op veldwerk (beschrijving oppervlaktewater, bronnen en kwel), deels op analyses van gegevens van Rijkswaterstaat (Rijn).

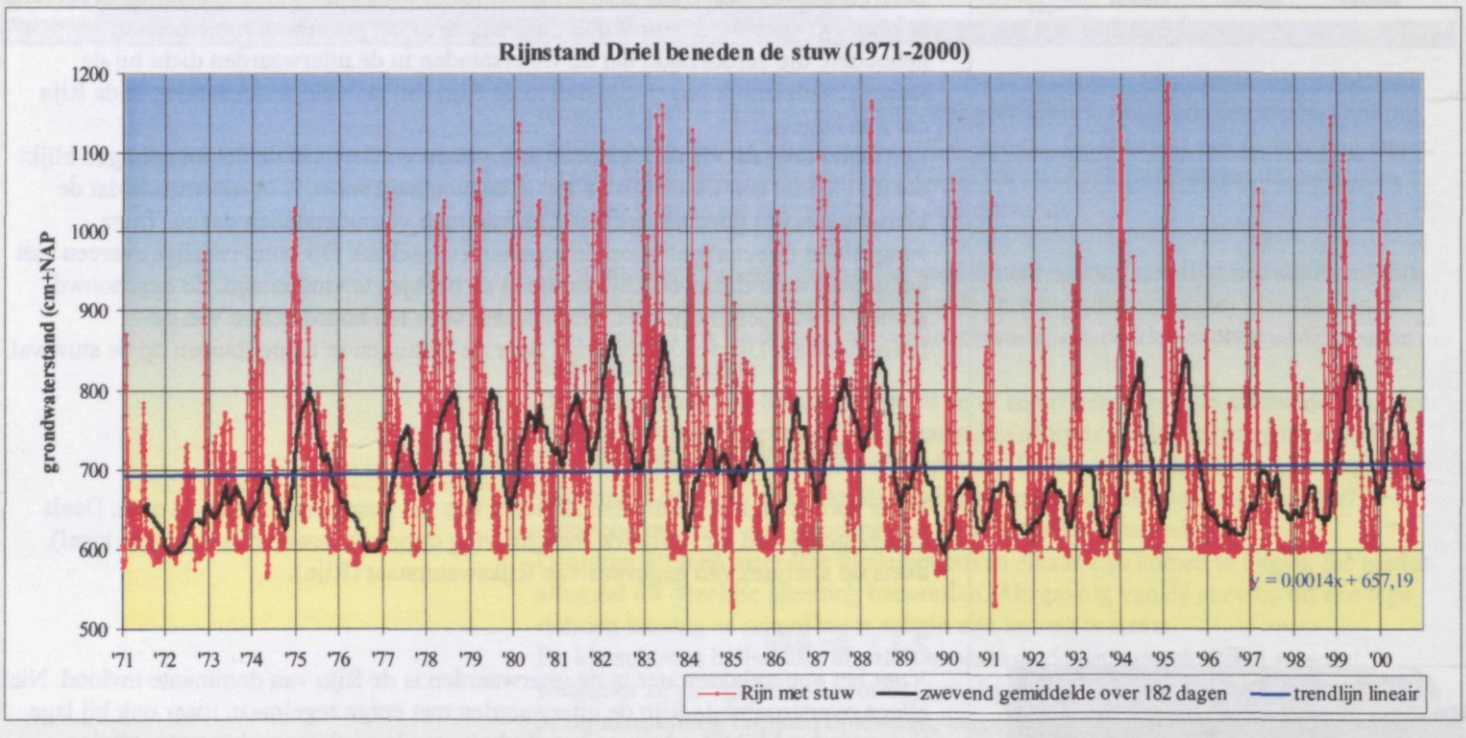
2.3.1 De Rijn

Voor het oppervlaktewater in de uiterwaarden is de Rijn van dominante invloed. Niet alleen overstroomt de Rijn de uiterwaarden met enige regelmaat, maar ook bij lage rivierstanden blijkt de rivier een sterk drainerende werking op het water uit de uiterwaarden en grote delen van de stuwwal uit te oefenen.
Aangezien er weinig zicht was op de verdrogende werking van de Rijn ten opzichte van de historische situatie zonder stuw is een analyse uitgevoerd van de waterstanden. Enerzijds is gekeken naar de standen van de Rijn in de periode 1937 - 1966, anderzijds naar de periode 1971 - 2000. In de periode 1967 - 1970 is de stuw gebouwd.

Bouw van de stuw omstreeks 1967; op de achtergrond de Doorwerthsche Waarden met het kasteel en de stuwwal

Voor de bouw van de stuw werd de waterstand niet gemeten bij Driel, maar bij Lexkesveer en Arnhem. Er is daarom gebruik gemaakt van lineaire interpolatie op basis van de rivierkilometers tussen deze beide waarden.
Kort voor de bouw van de stuw is men begonnen met het meten van de waterstand bij Driel, zodat een vergelijk mogelijk is. De geïnterpoleerde waarde kan per dag enigszins afwijken (tot meestal niet meer dan 10 cm, in een uitzonderlijk geval 20 cm), maar gemiddeld komt het verschil op 0 uit. De oorzaken voor de afwijking zitten waarschijnlijk hoofdzakelijk in het tijdstip van meten op de dag 8.00 uur tegenover 0.00 uur).



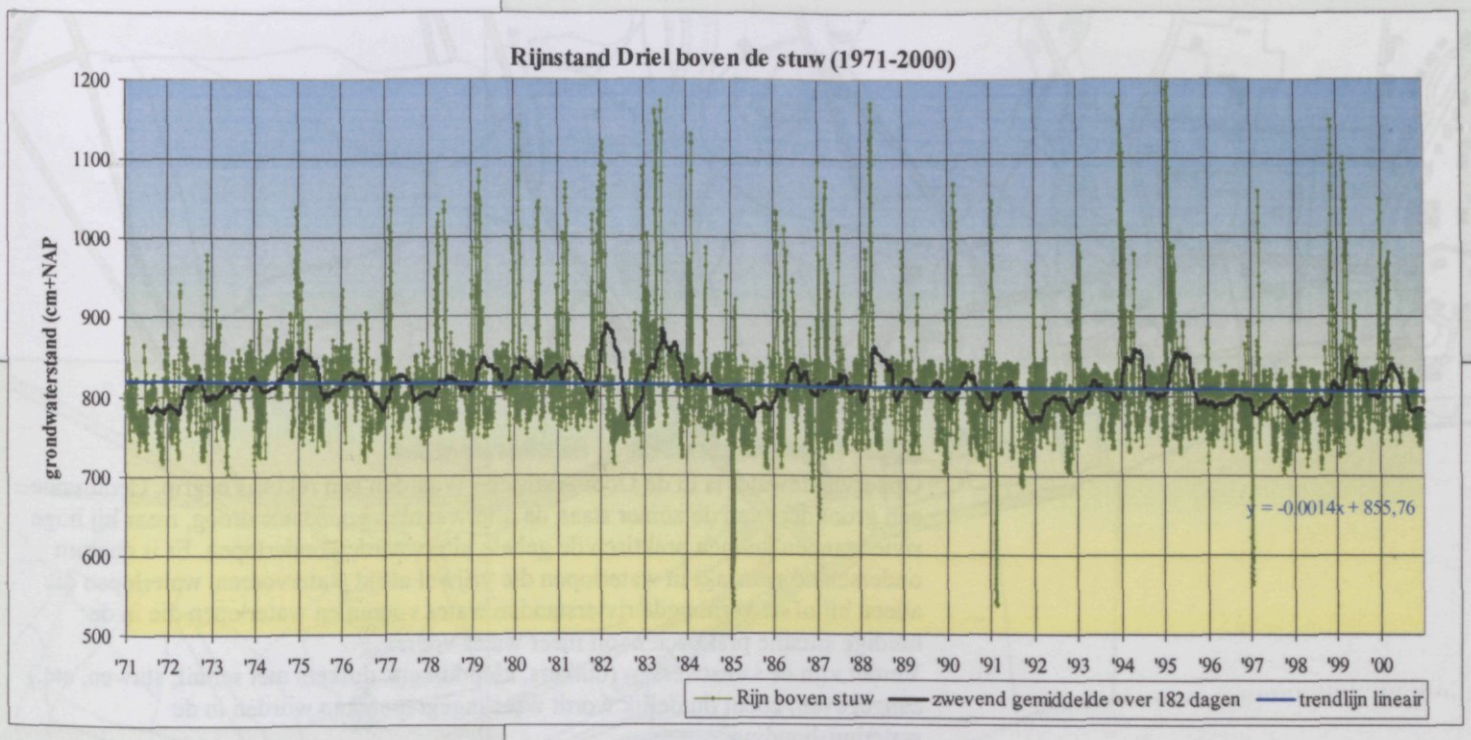


Zoals ook blijkt uit met name de blauwe lijnen in de beide grafieken, is het waterpeil ter hoogte van Kasteel Doorwerth in de Rijn gemiddeld over de gehele perioden met 19 cm gedaald na de bouw van de stuw. Was dit voor de bouw van de stuw 7,19 m+NAP, na de bouw van de stuw was dit 7,00 m+NAP (rekenkundig gemiddelde over alle gemeten dagwaarden in de onderscheiden perioden).

Ook is bekeken of dit in duidelijk anders was in het groeiseizoen. Daarvoor is de periode 1 mei tot 31 oktober genomen.
Het verschil is dan iets groter: de waterstand in het groeiseizoen is 24 cm gedaald door de bouw van de stuw: eerst 6,95 m+NAP, na de bouw 6,71 m+NAP.

Tenslotte is nagegaan of de situatie anders was in het deel van het jaar met gemiddeld de laagste waterstanden. Hiervoor is de periode 1 juli tot 31 december gekozen. Het verschil is over die periode 20 cm: eerst 6,88 m+NAP, na de bouw 6,68 m+NAP.

Conclusie is dus dat de waterstand in de Doorwerthsche Waarden door de bouw van



de stuw met zo'n 20 cm gemiddeld zijn gedaald, zowel 's zomers als 's winters.

Verder is bekeken wat de gemiddelde stand is van de Rijn boven de stuw en hoe deze zich verhoudt tot de stand vóór de bouw van de stuw. De gemiddelde stand van de Rijn boven de stuw is 8,12 m+NAP, en dus is er sprake van een gemiddelde toename van 1,12 m ten opzichte van de gemiddelde situatie vóór de bouw van de stuw. Er is wel geopperd dat dit de bronnen in positieve zin zou hebben beïnvloed, maar daar is niet zo veel kans op gezien de situatie met schijngrondwaterspiegels, die zich geheel onafhankelijk van de Rijnstanden gedragen.

In de grafieken is verder een zwevend gemiddelde aangegeven over 182 dagen (een half jaar). Daarmee wordt het grillige verloop van de rivierstand aanzienlijk gedempt en ontstaat enig inzicht in de trendmatige ontwikkeling van de rivier over verschillende jaren. Zo zijn jaren met veel en jaren met weinig afvoer te onderscheiden. De jaren '70 waren jaren met relatief weinig afvoer, daarna kwam een periode van grofweg 1978 tot 1988 met relatief hoge afvoeren, waarna de periode 1988 t/m 1998 weer relatief lage rivierstanden laat zien.
Opvallend is dat de stand boven de stuw veel meer stabiel is geworden dan de stand beneden, die nog steeds fors wordt beïnvloed door de afvoer. Pas bij lage waterstanden gaat het stuwpeil van de stuw van Amerongen invloed uitoefenen (6,00 m+NAP).

De stuw met neergelaten vizierschuiven: hij stuwt

Kijken we naar de langjarige trend, gerepresenteerd door de blauwe trendlijn, dan blijkt dat de periode 1937-1966 een dalende trend laat zien, terwijl die in de periode 1971-2000 weer ongeveer evenveel omhoog ging. Niettemin gaat het toch om vrij grote schommelingen, bijna evenveel als het verdrogende effect van de bouw van de stuw: ca. 15 cm over 30 jaar.

Kijken we naar extremen dan zien we dat die 6,00 m+NAP ook bijna altijd de "bodem" vormt in de grafiek. Vóór de bouw van de stuw zakte de waterstand regelmatig nog verder weg, tot ca. 5,0 m+NAP.
In de pieken is niet zo veel veranderd. In de beruchte hoogwaters van 1993 en 1995 werden standen van bijna 12 m+NAP behaald, ongeveer de stand waarop de dijk rond het kasteel gaat overstromen.
Rijkswaterstaat hanteert in zijn norm Maatgevend Hoogwater (op basis van 15.000 m^3/s bij Lobith) standen van ca. 12,60 bij Heveadorp, 12,35 ter hoogte van het kasteel en 12,20 m+NAP bij de brug van de A50.
Er stroomt dan 3.160 m^3/s door de Nederrijn.

2.3.2 Oppervlaktewater in de uiterwaarden

Oppervlaktewater is in de Doorwerthsche Waarden een rekbaar begrip. Gedurende een groot deel van de zomer staan de uiterwaarden goeddeels droog, maar bij hoge rivierstanden kunnen praktisch de gehele uiterwaarden onderlopen. Er is daarom onderscheid gemaakt in waterlopen die vrijwel altijd watervoeren, waterlopen die alleen bij of na verhoogde rivierstanden water voeren en waterlopen die in de huidige situatie praktisch nooit meer water voeren.
Verder zijn de kunstwerken (duikers, klepduikers, duikers met schuif, stuwen, etc.) aangegeven, zodat duidelijk wordt waar ingegrepen kan worden in de waterhuishouding.

Op deze manier is het mogelijk een indeling te maken van deelgebieden met een min of meer eigen waterhuishouding.
Te beginnen aan de bovenstroomse kant worden de volgende stroomgebiedjes beschreven:

- benedenloop Leigraaf in de Rosandepolder
- Seelbeek tot stuwcomplex
- Doorwerthsche Waarden oostelijk van het kasteel
- bedijkte omgeving van het kasteel
- Doorwerthsche Waarden midden: tussen Veerweg en kleiputten

De Leigraaf in de Rosandepolder op het laagste niveau van de uiterwaard met het stuwtje net bovestrooms van de uitstroom in de Rijn

Deelgebied Leigraaf in de Rosandepolder

De Leigraaf wordt gevoed door de verschillende beken die in Oosterbeek aan de voet van de stuwwal ontspringen. Het gaat daarmee om een fors potentieel debiet: ca. 42 L/s aan beek- en bronwater komt van de stuwwal de Rosandepolder in (Supèr en Gommer, 1993). Er zijn echter 3 uitstroompunten, waar water van de Leigraaf naar de Rijn kan stromen.
Het grootste debiet komt van de Slijpbeek, die van het landgoed Mariëndaal en het KEMA-terrein komt. De KEMA loost er koelwater op, zodat er in totaal meer dan 28 L/s door de Slijpbeek stroomt. Het grootste deel (ca. 21 L/s) daarvan stroomt via een duiker uit in de plas met woonboten oostelijk van de spoorbrug. Ca. 7 L/s vervolgt zijn weg naar het westen.
Ook het water uit het westelijk deel van de Rosandepolder stroomt niet allemaal naar het westen. Er is ook een uitstroom ongeveer halverwege, zodat het water van de Leigraaf afkomstig van Zweiersdal, Hemelseberg en Hoge Oorsprong in de Rosandepolder twee kanten op kan. De studie van Supèr en Gommer is niet eenduidig over de hoeveelheden die hier stromen. Dat kan te maken hebben met de beïnvloeding die ze melden over de metingen. Om te kunnen meten moesten ze namelijk de klep voor de uitstroomduiker openzetten, waardoor de stroming veel sterker werd. Het geeft echter een aardig beeld van de hoeveelheden water die hier

Deelgebied Leigraaf in de Rosandepolder

kunnen stromen. Het gaat daarbij om ca. 16 L/s. De drie beken (Zweiersdal, Hemelseberg en Hoge Oorsprong) geven samen ca. 14 L/s.

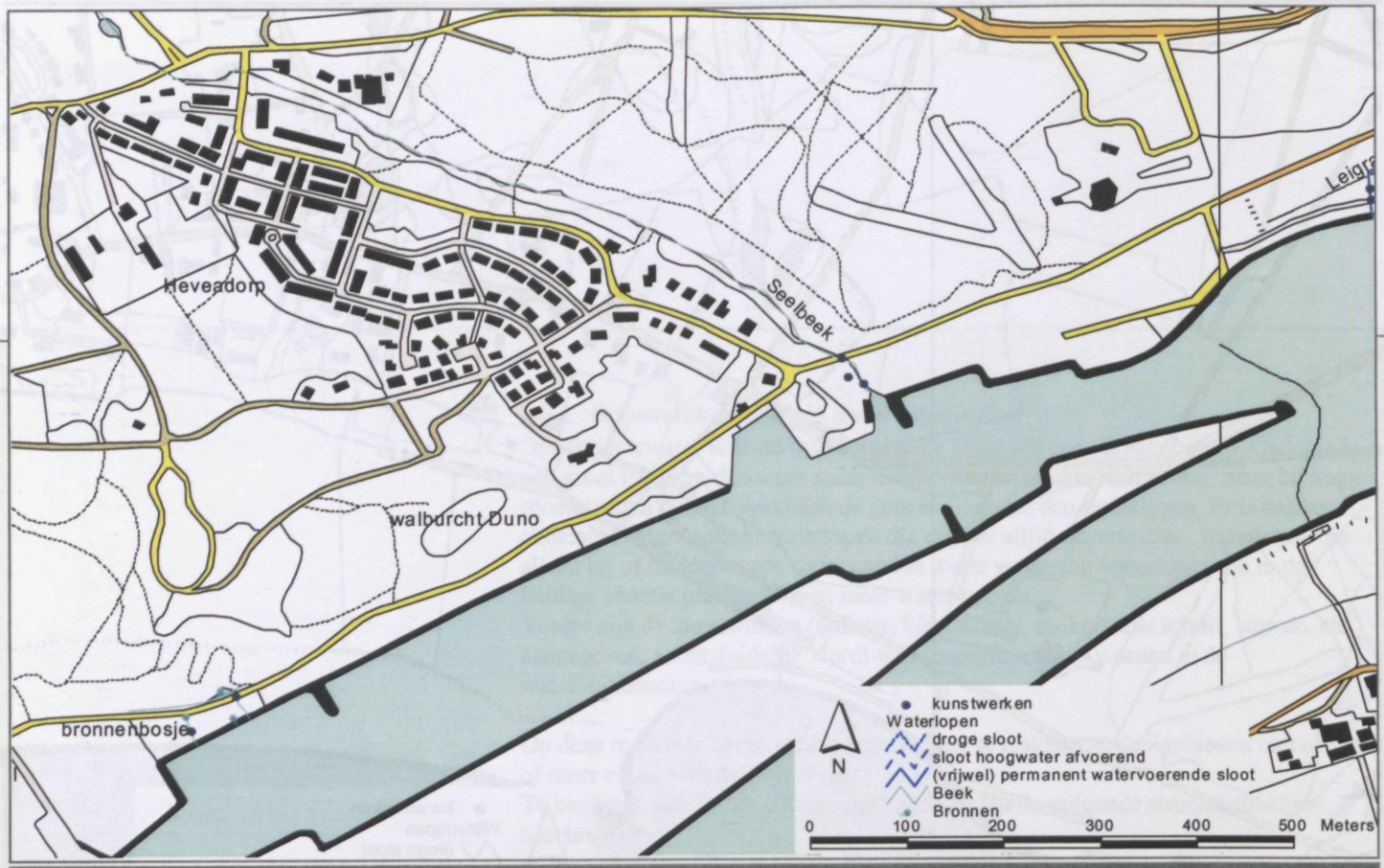
De benutting van dit water wordt sterk bemoeilijkt door de lage ligging. De Leigraaf heeft in zijn benedenloop een hoogte van ca. 9,00 m+NAP. Aangezien in het traject tussen de Leigraaf en de Doorwerthsche Waarden de terreinen merendeels veel hoger liggen (11 - 12 m+NAP), zou alleen een open verbinding praktisch mogelijk zijn langs de oeverlijn van de Rijn. Daarmee zou echter weer een sterke beïnvloeding plaatsvinden door het Rijnwater, zodat het beekwater geregeld zou worden vervuild met rivierwater.

De Leigraaf met grote klepduiker in de zomerdijk: de uitstroom in de Rijn

De Seelbeek tussen de Rijn en de (Oosterbeekse) Veerweg. Links de riooloverstort, op de voorgrond het stuwtje, op de achtergrond de weg.

Deelgebied Seelbeek - stuwcomplex

Het oppervlaktewater wordt hier (naast de Rijn) in hoofdzaak gevormd door beken: de Seelbeek en enkele kleine naamloze stroompjes die ontspringen juist ten oosten van de stuw en in dit onderzoek worden aangeduid als de bronnen/kwelplek in het "bronnenbosje bij de stuw". Ze ontspingen aan beide zijden van de Fonteinallee. Daarnaast is er nog een kleine vijver, even ten westen van de Seelbeek (Heveadorp) in een tuin onder aan de stuwwal. Vermoedelijk wordt deze vijver ook op peil gehouden door een kleine bron, al treedt er geen zichtbare afvoer op.

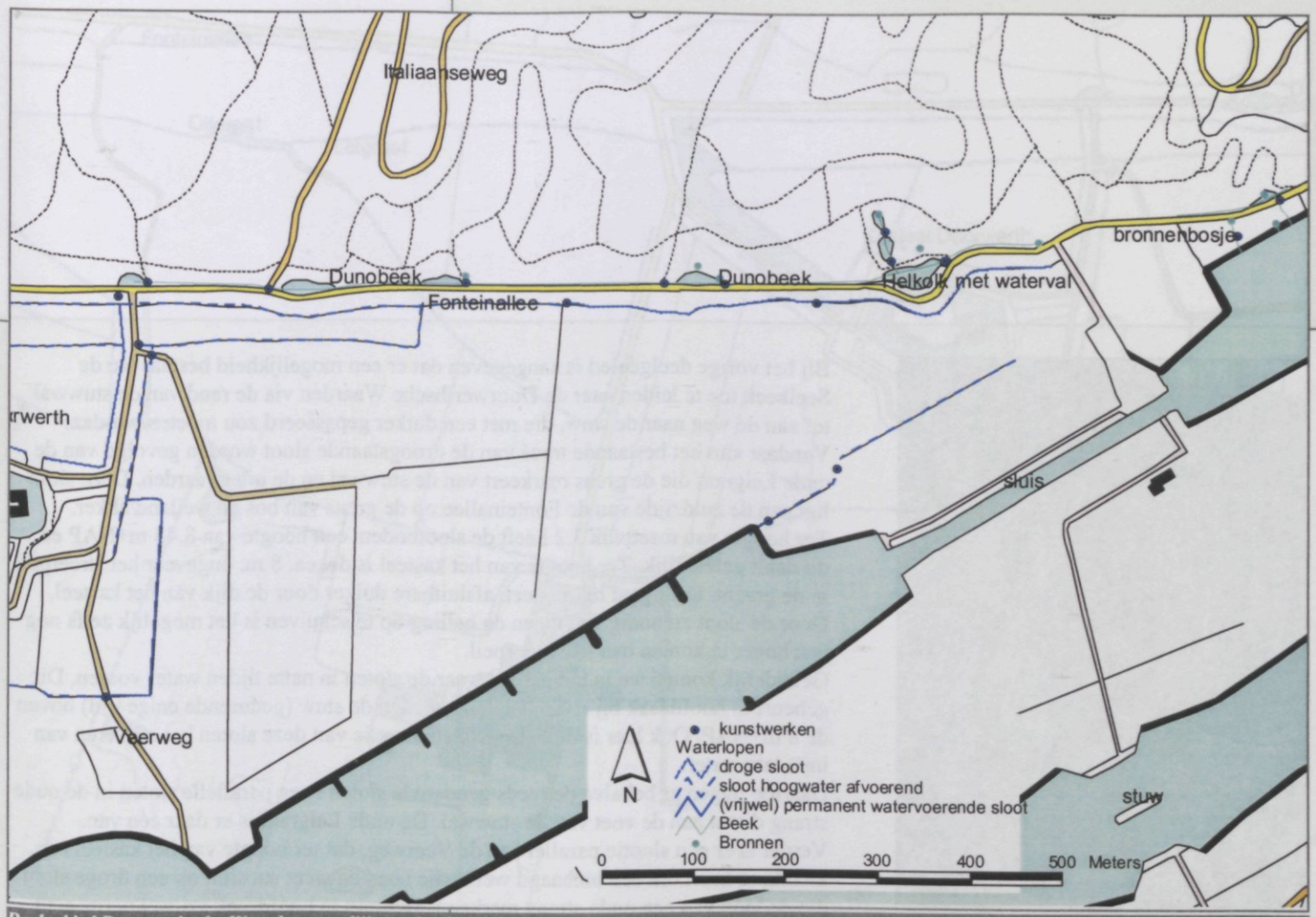


Deelgebied Seelbeek - stuwcomplex

Bij de woonboten bij Heveadorp is maar een smalle strook grond beschikbaar.

De Seelbeek heeft zijn bronnen ten noorden van Heveadorp en stroomt door het erosiedal (Dal van Ter Aa in oude geschriften) naar de Rijn.
Hier is alleen de benedenloop van de beek beschreven. De beek kruist de (Oosterbeekse) Veerweg met een duiker en stroomt met een vrij fors verval verder over grote stenen naar een schotbalkstuwtje. Juist boven deze stuw komt een grote riooloverstort uit in de beek.
Na de stuw (waarvan de functie onduidelijk is) stroomt het water naar de Rijn, opnieuw met een vrij groot verval van enkele meters (afhankelijk uiteraard van de stand van de Rijn).

De Seelbeek heeft - zo blijkt uit de metingen - een debiet van rond de 2,5 liter per seconde (ca. 200 m3/dag).
Evenals bij de Leigraaf uit de Rosandepolder is ook van de Seelbeek bekeken of deze zonder al te grote problemen om te leiden zou zijn naar de Doorwerthsche Waarden, met name de omgeving van het Kasteel. Hier lijken daarvoor betere kansen te liggen.
Het grote verschil met de Leigraaf is dat de Seelbeek veel hoger is om te leiden. De doorvoer door de (Oosterbeekse) Veerweg ligt op een hoogte van ca. 10,27 m. De beek is echter al boven de doorvoer om te leggen, op een hoogte van ca. 12,00 m. Vandaar af is het mogelijk om met een geleidelijke daling de Fonteinallee te volgen. Het tracé zou dan wel door enkele tuinen moeten lopen van de bij Heveadorp gelegen woonboten. Met name bij het haventje is er slechts een smalle strook grond beschikbaar.
De hoogte zou dan geleidelijk moeten dalen, van ca. 12 m+NAP bij het begin van de Fonteinallee tot ca. 11 m+NAP bij het bronnenbosje en ongeveer 10,5 m+NAP bij een nieuw aan te leggen duiker onder de weg naar de sluis. Vandaar kan het bestaande tracé van de droogstaande sloot worden gevolgd van de oude Leigraaf die de grens markeert van de stuwwal en de uiterwaarden. Deze sloot ligt aan de zuidzijde van de Fonteinallee op de grens van bos en weiland/akker.



Deelgebied Doorwerthsche Waarden oostelijk van het kasteel

kwelsloot met op de achtergrond de zomerkade met betonnen keermuur en duiker

Doorwerthsche Waarden oostelijk van het kasteel

Het gebied tussen de stuw en Kasteel Doorwerth is het meest verdroogde gedeelte van de Doorwerthsche Waarden. Vrijwel alle sloten staan hier het overgrote deel van het jaar droog. Alleen bij zeer hoge rivierstanden (meer dan 2 m boven zomerpeil) komt hier nog water in de sloten. Ook voor de landbouw heeft deze droogte negatieve gevolgen.

In het meest oostelijke weiland (dus het dichtst bij de stuw) dat ontdaan is van een kleilaag, ligt momenteel een kwelsloot. Peilpunt 3.4 ligt aan het begin van deze kwelsloot, die via een duiker door de zomerdijk (met klep aan de rivierzijde) kan lozen op de Rijn. Vlakbij de Rijn bevindt zich nog een kleine duiker.
De slootbodem van dit systeem bevindt zich op ca. 8,0 m+NAP.

Zomerkade met betonnen keermuur en duiker met klep (open) aan de rivierzijde. De eroderende werking van het water in de bocht (na hoogwater) is duidelijk te zien.

Doorwerthsche Waarden oostelijk van het kasteel met de droge sloot op de grens van stuwwal en uiterwaard

Afsluitbare duiker in de Veerweg bij het kasteel (oostzijde). Peilbuis 2.1 staat in het talud.

Bij het vorige deelgebied is aangegeven dat er een mogelijkheid bestaat om de Seelbeek toe te leiden naar de Doorwerthsche Waarden via de rand van de stuwwal tot aan de weg naar de stuw, die met een duiker gepasseerd zou moeten worden. Vandaar kan het bestaande tracé van de droogstaande sloot worden gevolgd van de oude Leigraaf die de grens markeert van de stuwwal en de uiterwaarden. Deze sloot ligt aan de zuidzijde van de Fonteinallee op de grens van bos en weiland/akker.
Ter hoogte van meetpunt 3.2 heeft de slootbodem een hoogte van 8,48 m+NAP en dit daalt geleidelijk. Ter hoogte van het kasteel is dat ca. 8 m: ongeveer het streefpeil in de gracht. Daar gaat hij met een afsluitbare duiker door de dijk van het kasteel. Door de sloot zo nodig wat tegen de helling op te schuiven is het mogelijk zelfs nog wat hoger te komen met het waterpeil.
Geleidelijk komen we in het gebied waar de sloten in natte tijden water voeren. Dit gebeurt in hoofdzaak bij rivierstanden beneden de stuw (gedurende enige tijd) boven de 8 m+NAP. Ook hier is de belangrijkste functie van deze sloten het afvoeren van inundatiewater.
Daartoe liggen er behalve de reeds genoemde sloten twee parallelle sloten in de oude strang direct aan de voet van de stuwwal. De oude Leigraaf is er daar één van.
Verder is er een slootje parallel aan de Veerweg, dat ter hoogte van het kasteel een aftakking heeft om een omhaagd weilandje heen en weer aansluit op een droge sloot die de loop van een oude strang markeert. Het zijn in hoofdzaak vrijwel permanent droge sloten, die alleen bij zeer hoge rivierstanden water voeren en in de huidige situatie dan ook alleen enige betekenis hebben voor de waterafvoer na hoogwater.

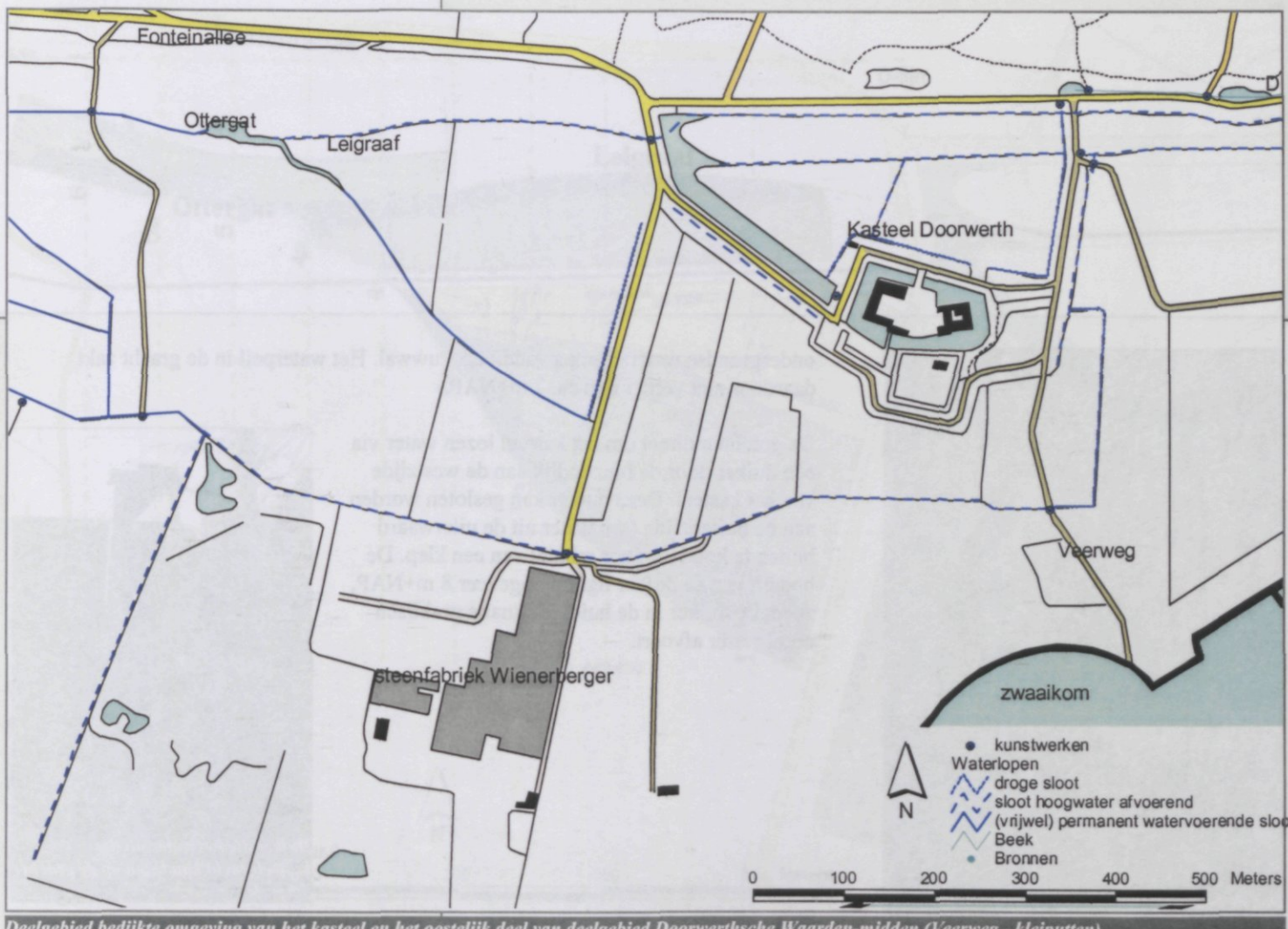
Greppel langs de noordelijke dijk van het kasteel. Rechts op de achtergrond de boomgaard..

Bedijkte omgeving van het kasteel

De bedijking, aangelegd in de 17e eeuw, bestaat uit een hoge dijk die het kasteelcomplex in een soort halve cirkel verbindt met de stuwwal. Hij bestaat uit het noordelijk deel van de Veerweg; de dijk om de moestuin heen, de buitenhof en de oprijlaan. Deze dijk heeft een hoogte van ca. 11,80 m+NAP of meer en kan als bijna hoogwatervrij worden beschouwd (maximum van 1995 was 11,88 m+NAP bij Driel beneden de stuw).
Daarnaast is er een binnendijk, die het kasteel aan de noord- en westzijde omgeeft en het kasteelcomplex afscheidt van de boomgaard en weilanden tussen het kasteel en de stuwwal. Deze dijk heeft een hoogte van ca. 10,90 m+NAP en is vermoedelijk bedoeld om bij langdurige hoogwaters het kwelwater buiten te houden.

De noordelijke sloot van de Leigraaf op het kasteelterrein met op de achtergrond de duiker door de oprijlaan.

De Leigraaf ligt in de oude strang die de overgang vormt tussen de stuwwal en de uiterwaard. Deze liep door tussen het kasteel en de stuwwal. Bij de bedijking van het kasteel zijn er daarom twee sluizen aangelegd in de dijk om wateroverschotten door



Deelgebied bedijkte omgeving van het kasteel en het oostelijk deel van deelgebied Doorwerthsche Waarden-midden (Veerweg - kleiputten)

te laten van oost naar west. Ze moesten uiteraard afsluitbaar zijn in tijden van hoog water om het kasteelterrein droog te houden. Eén ervan is al genoemd bij het vorige deelgebied (zie ook de foto op de vorige bladzijde).
De andere ligt aan de westkant, waar de oprijlaan van het kasteel uitkomt op de Fonteinallee. De twee sloten die ongeveer de vroegere oevers van de strang markeren komen beide uit in een moerassig gebiedje bij het begin van de oprijlaan. Daar komt ook de gracht op uit die langs de oprijlaan loopt. Ook dit is vermoedelijk een oude strang. Ongeveer in het midden tussen de sloten is de afvoerduiker naar het westen, die aan de westzijde van de oprijlaan afsluitbaar is.
Daarmee is het hoofdwatersysteem binnen het bedijkte gedeelte beschreven. Er komen nog enkele greppels op uit die langs de noordelijke dijk van het kasteel lopen.

De gracht om de moestuin staat vrijwel permanent droog; die om het kasteel zelf houdt meestal nog wat water, maar is deels moerassig.

De directe omgeving van het kasteel heeft een eigen waterhuishouding, bestaande uit het grachtensysteem, waarop de bebouwing en de binnenterreinen afwateren. Met name aan de kasteelgracht is duidelijk te zien dat de waterstand hier in historische tijden meestal veel hoger geweest moet zijn. Delen van het grachtenstelsel staan vrijwel permanent droog. Het gaat daarbij om de gracht om de moestuin ten zuiden van het kasteel en om de tak die de hoofdburcht van de voorhof scheidt. Ook de veel diepere hoofdgracht verandert 's zomers gedeeltelijk in een kleurig moeras als gevolg van de rivierstanden die optreden bij een gesloten stuw (ca. 6 m+NAP). Het peil blijft echter wel aanzienlijk hoger dan het rivierpeil als gevolg van

Gebouwen en binnenterrein wateren af op de gracht.

Ook de bodem va de binnengracht tussen het kasteel en de voorhof ligt hoog boven het waterniveau.

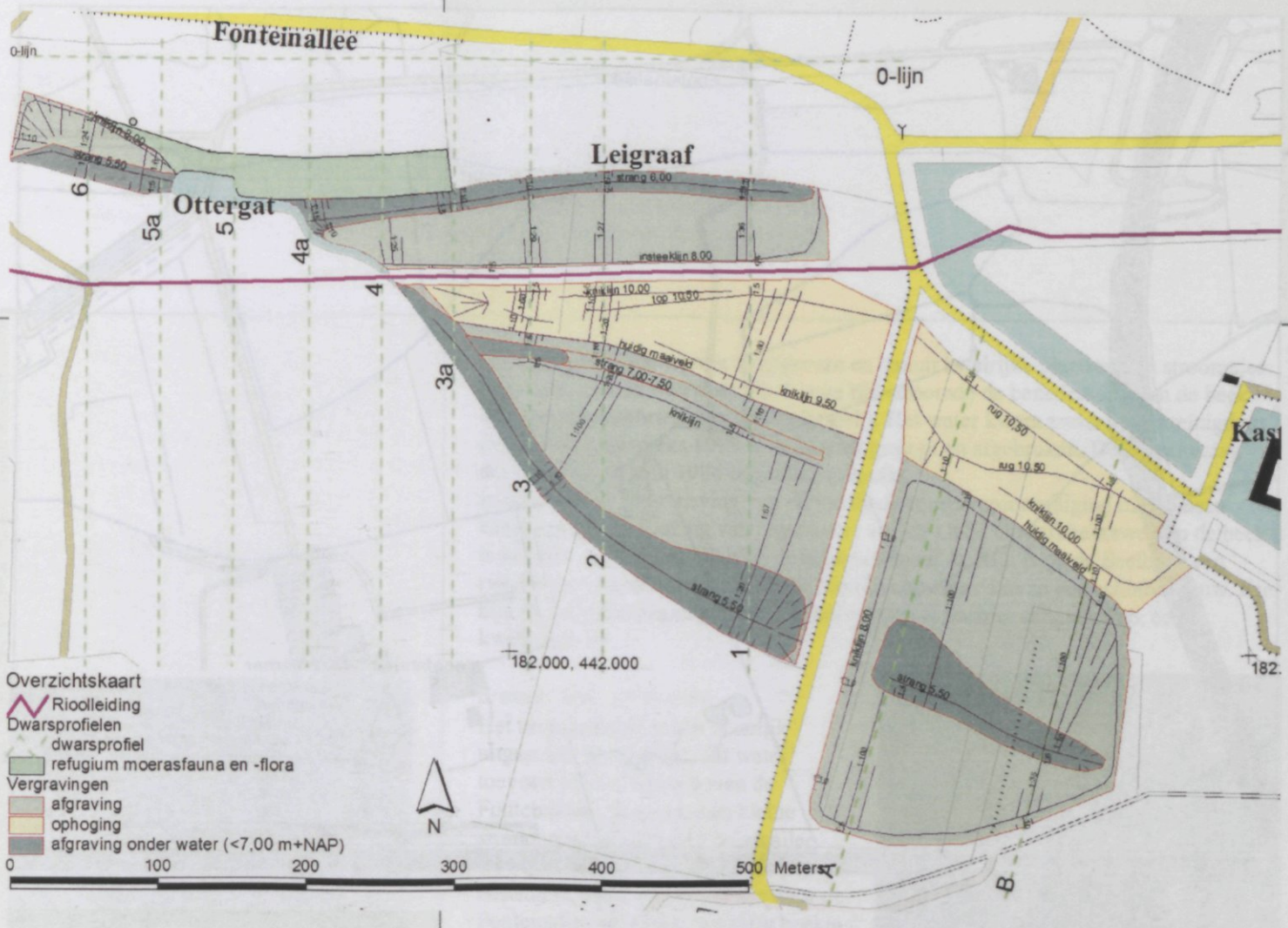
ondergrondse waterstromen vanuit de stuwwal. Het waterpeil in de gracht zakt daardoor niet verder dan ca. 7 m+NAP.

De grachten direct om het kasteel lozen water via een duiker door de binnendijk aan de westzijde van het kasteel. Deze duiker kan gesloten worden aan de buitenzijde (om water uit de uiterwaard buiten te houden) door middel van een klep. De bodem van de duiker ligt op ongeveer 8 m+NAP, zodat de duiker in de huidige situatie praktisch nooit water afvoert.

Duiker die het water uit de kasteelgracht kan lozen op de gracht langs de oprijlaan.

Doorwerthsche Waarden midden: tussen Veerweg en kleiputten

In dit deelgebied wordt open water weer een min of meer normaal verschijnsel, al zijn ook hier de waterstanden aanzienlijk lager dan vóór de bouw van de stuw. Dat uit zich bijvoorbeeld in de strang onder aan de voet van de stuwwal. Op de plaats waar zich twee oude strangen verenigden ligt het Ottergat: een waterplas met daaromheen moerassig land. Hier trad vroeger kwel op (Supèr en Gommer, 1993, mond. meded. J. Beekhuis). Momenteel zijn daar echter geen duidelijke sproren meer van te vinden. Mogelijk is er ook vroeger sprake geweest van een combinatie van uitwisseling van water met de stuwwal en rivierkwel. Dit geeft vaak verschijnselen als oliebacterieën etc. In dit onderzoek is er echter bij diverse terreinbezoeken nooit iets van gevonden.
Wel is er over een lengte van ca. 300 m nog een vegetatie in de oude strang te vinden die doet denken aan moerasruigte, maar deze ligt 's zomers meer dan een meter boven het waterniveau. De instandhouding ervan komt dan ook vooral doordat dit gedeelte niet wordt beweid. Er zijn enkele bomen en struiken in opgeslagen, waaronder wilgen, meidoorn, hondsroos en vlier.
De Leigraaf wordt hier onderhouden (door het Waterschap) en de kanten snijden momenteel met steile taluds in de ondergrond.



Dit gedeelte zal naar alle waarschijnlijkheid binnenkort verdiept en verbreed worden in een natuurontwikkelingsproject, zoals dat voortkomt uit het Masterplan Doorwerthsche Waarden (Buro Hemmen, 2004). Een schets daarvan is hierboven gegeven. De voorbereidingen voor de uitvoeringen zijn op dit moment gaande. Doel ervan is de strangen weer goed zichtbaar te maken, ruggen op te werpen waar stroomdalflora zich zal kunnen ontwikkelen en gradiënten te maken tussen nat en droog, waarbij ook water- en moerasvogels kunnen profiteren van geleidelijk verschuivende oeverlijnen, slikkige randjes en moerassige vegetaties.

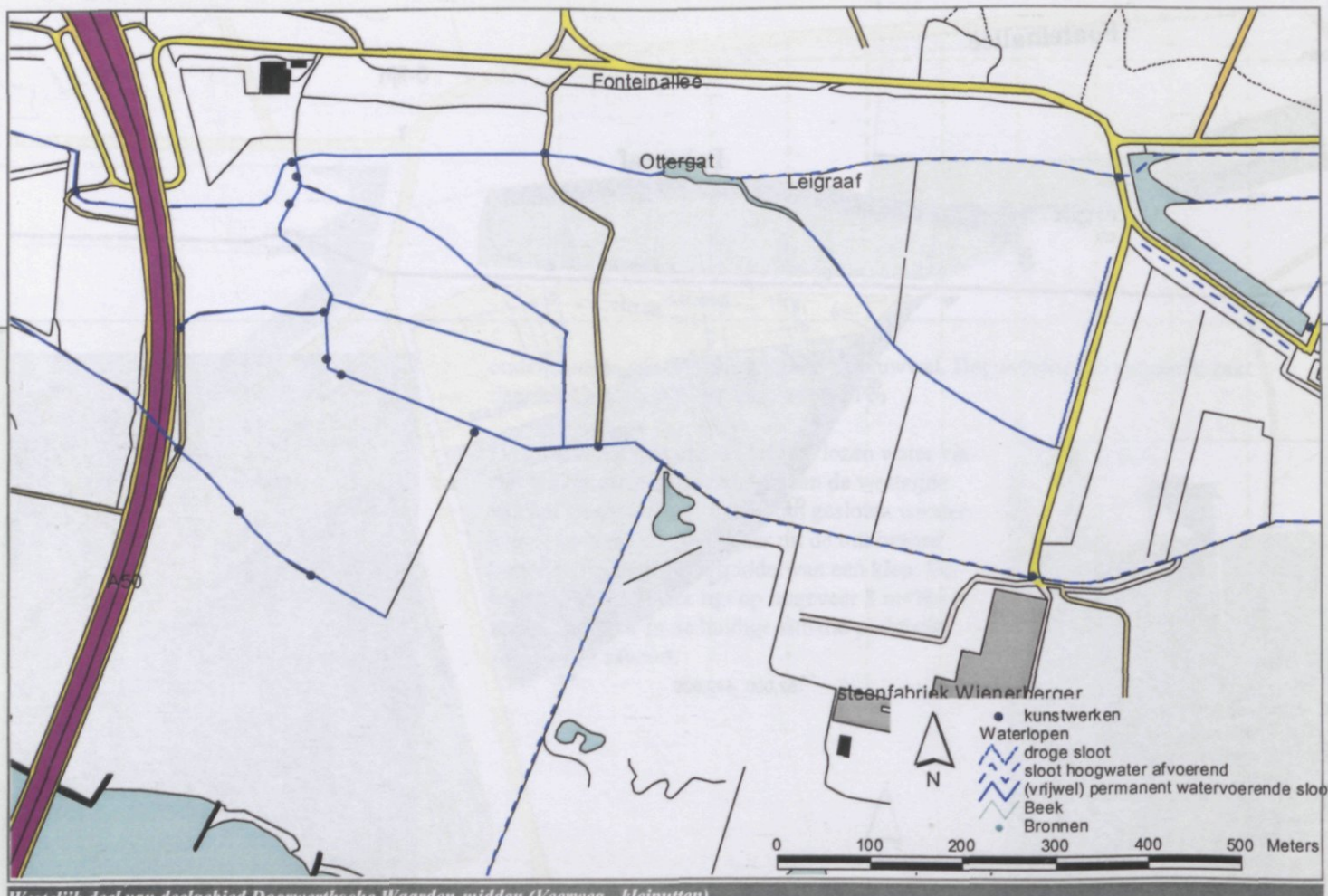
De klepduiker westelijk van de oprijlaan naar het kasteel in de Leigraaf.

In de huidige situatie is de Leigraaf de hoofdafwatering van het gehele deelgebied; eigenlijk van de hele Doorwerthsche Waarden. Evenals aan de oostzijde van het kasteelterrein, is ook aan de westzijde de Leigraaf afsluitbaar met een duiker. Ook deze duiker staat gewoonlijk droog. De bodem ligt waarschijnlijk op ca. 7,8 m+NAP.
Zoals gezegd loopt hij vandaar naar het Ottergat en verder naar het westen, via een forse duiker onder een toegangsweggetje voor de landbouw naar de manège vlak bij de A50 (Olsmeijer). Daar slingert hij om het landhoofd van de A50 heen naar de kleiputten en daar verder langs tot aan de uitstroomsluis bij de westpunt van de Noordberg en de uitstroom van de Heelsumse Beek.

De Leigraaf gezien in westelijke richting vanaf de klepduiker in de oprijlaan van het kasteel.

De sloot wordt begeleid door een forse houtwal

Daarnaast is er nog een andere watergang, die met name na hoogwater ook een rol vervult bij het droog worden van de Doorwerthsche Waarden. Dit is de watergang (eveneens op de plaats van een oude strang) die vanaf de boerderijheuvel bij het kasteel naar het westen loopt door het zuidelijk deel van



Westelijk deel van deelgebied Doorwerthsche Waarden-midden (Veerweg - kleiputten)

De duiker door de weg naar de steenfabriek met de lozingspijp van de steenfabriek.

Benedenloop van de Seelbeek met rechts de riooloverstort

de Doorwerthsche Waarden. Hij wordt grotendeels begeleid door een houtwal met meidoorns, essen en andere boomsoorten en schermt de steenfabriek een beetje af. Ter hoogte van de manege van Olsmeijer komt deze sloot weer uit in de Leigraaf. Hij is recent voorzien van een dubbele duiker door de weg naar de steenfabriek om het mogelijk te maken dat het oostelijk deel van de Doorwerthsche Waarden afwatert na een hoogwaterperiode. Bij hoog water wordt de Leigraaf namelijk onderbroken door de twee sluisjes in de dijk om Kasteel Doorwerth. Deze zullen bij waterstanden in de polder boven ca. 8 m+NAP doorgaans gesloten blijven. De situatie doet zich dan voor dat de hoge gronden in het oosten van de Doorwerthsche Waarden langer onder water staan dan de lagere gronden ten westen van de weg naar de steenfabriek. Daarom is er een doorgang gemaakt bij de steenfabriek, zodat het water dat ten oosten van het kasteel stagneert, daar weg kan lopen. De verbinding is echter relatief klein.
De steenfabriek loost hier vermoedelijk proceswater op deze sloot met een soms melkwitte kleur.

2.3.3 Bronnen en kwel

Seelbeek

Deze bron is niet onderzocht in dit onderzoek, omdat daarvoor alleen de benedenloop interessant is. De beschrijving is gebaseerd op de beschrijving van Anouk Blauw (1994).

De Seelbeek ontspringt in een Elzenbroekbos (op ca. 35 m+NAP). Dit bos maakt deel uit van het Landgoed Duno, dat eigendom is van St. Het Geldersch Landschap/Geldersche Kasteelen. In het bos zijn sporen van middeleeuwse bewoning gevonden. Vermoedelijk is dit de plaats waar de 15e eeuwse "Hof te Seelbeek" heeft gestaan. Dit behoorde destijds tot het domein van de Hertogen van Gelre.

In het bos zijn drie vijvers uitgegraven en vanuit kwelrijke plaatsen zijn stroompjes gegraven voor de watertoevoer. Lange tijd stroomde de benedenloop van de beek door de Heveafabriek (een rubberfabriek). Het water kwam zwaar verontreinigd uit de fabriek. Omstreeks 1979 is de fabriek gestopt en afgebroken. De overkluizing door de fabriek is in 1986 ongedaan gemaakt.
In de grond in de omgeving van de Seelbeek is een verontreiniging met tolueen aangetroffen. Een lozing van regenwater van de Oude Oosterbeekseweg op de beek is in 1991 opgeheven. Vlak bij de uitstroom naar de Rijn is op de Seelbeek een riooloverstort aanwezig, met direct benedenstrooms daarvan een schotbalkstuw. Hier zijn de debietmetingen gedaan. Bij het stuwtje is bosbies aangetroffen, een kwelindicator.

Opgelegde beek bij het Bronnenbosje, direct oostelijk van de keermuur. Kwel houdt het water open.

De instroom van het tweede beek je in het bronnenbosje, beneden de Fonteinallee

Het Cascadedal met drie vijvers in de Dunobeek

Bronnenbosje bij de stuw

Het bronnenbosje is een tamelijk uitgestrekt brongebied, dat water toevoert aan de vijver boven de Fonteinallee, maar ook aan kleine stroompjes beneden de Fonteinallee.
De vijver loost via een deels uit pvc bestaande, deels ijzeren duiker door de Fonteinallee en vormt een klein beekje dat met een flink verval over een lengte van ca. 25 m uitstroomt naar de Rijn.
Daarnaast is er een tweede stroompje, dat geheel beneden de Fonteinallee ligt. Dit krijgt een flink deel van zijn water uit de kwelplek waar de buizenset 3.6 staat. Dit water stroomt een tiental meters parallel aan de Fonteinallee naar het oosten en verdwijnt dan in een betonnen duiker, die het afvoert naar de Rijn. Soms is hier uitvlokking van ijzer aangetroffen.

Het beekje dat vanuit de bronvijver boven de Fonteinallee uitkomt in de Rijn.

Er is nog een derde, min of meer diffuse afstromingsplek naar de Rijn. Deze ligt tussen de beide andere in.
Dat hier een uitgebreide kwelplek aanwezig is, blijkt ook uit de geomorfologie: de plek is kennelijk niet geschikt voor de steile helling van de stuwwal, zodat een uitstulping ervan in de richting van de Rijn is ontstaan, ongetwijfeld na de erosie van de stuwwalrand door de Rijn. De onstabiele helling was hoogstwaarschijnlijk ook aanleiding voor de aanleg van een ca. 30 m lange keermuur langs de Fonteinallee. Dit is vermoedelijk ook de reden dat dit gedeelte niet is aangetakt op de Dunobeek, westelijk van de stuw. Een beek zou de bodem verder kunnen verweken en een extra ingraving in de toch al (te) steile stuwwalhelling noodzakelijk maken.

Dunobeek

De Dunobeek is hier breder opgevat dan in het verleden soms is gedaan. In deze studie wordt hieronder het gehele stroomgebied boven de Fonteinallee bedoeld, dus inclusief het opgelegde deel, tot de duiker die het water door de Fonteinallee in de uiterwaard (Leigraaf) doet uitstromen. In de studies van Claessens (1978) en Blauw (1994) wordt alleen het stukje in het Cascadedal bovenstrooms van de Helkolk als de Dunobeek beschouwd. Op de legger van het Waterschap Vallei en Eem daarentegen

wordt ook de Leigraaf benedenstrooms van de duiker in de Fonteinallee tot de Dunobeek gerekend, tot aan de uitstroming in de Rijn.

Het meest oostelijke stukje van de Dunobeek bij de oprit naar de stuw. Het verste stuk ontvangt waarschijnlijk geen water (dichtgevroren).

De Dunobeek ontvangt water uit diverse bronnen op diverse plaatsen langs de stuwwal, de meeste dicht boven de Fonteinallee. In de meeste gevallen gaat het om kleine waterstroompjes, die soms amper zichtbaar zijn.
Deze beschrijving volgt de beek van oost naar west.
De eerste bronnen vinden we direct westelijk van de inrit naar de stuw. Vermoedelijk gaat het om twee bronplekken, de eerste levert rechtstreeks aan de opgelegde beek langs de Fonteinallee.
De tweede levert sterk ijzerhoudend water uit een bron net iets boven de opgelegde beek. Via een duiker (meetpunt debiet) stroomt het water uit dit meest oostelijke stuk van de Dunobeek uit in de Helkolk.

Eén van de oostelijke bronnen van de Dunobeek levert sterk ijzerhoudend water.

Boven de Helkolk is nog een geul waar water sijpelt naar de Helkolk.

Gaan we rechts om de Helkolk heen naar de plaats waar het water uit het Cascadedal stroomt, dan komen we eerst nog door een natte geul, waar ook weer enig water sijpelt, rechtstreeks in de Helkolk.

De belangrijkste en hoogste bron van de Dunobeek bevindt zich in het Cascadedal. Deze bron was vroeger bekleed met kunstmatige rotsen. Of het hier om een sprengenbeek gaat is twijfelachtig; vermoedelijk is het een natuurlijke bron, die wellicht wat uitgegraven en bekleed is.
Het stroompje komt via nog meer "rotsen" uit in de eerste van drie vijvers, en stroomt via duikers en betonnen constructies naar lagere de vijvers, waarvan de Helkolk de derde is.

Vanuit de Helkolk stroomt het water westwaarts. Na enkele honderden meters verdwijnt de beek in een duiker, die opnieuw onder een - ditmaal kleinere uitzakking van de stuwwalrand doorgaat. Ook hier bevindt zich een kwelplek, zoals blijkt uit drainbuizen die zowel aan de bovenstroomse als aan de benedenstroomse kant in de Dunobeek uitkomen. Ze geven weliswaar geen grote hoeveelheden, maar druppelen toch gestaag. Meteen stroomafwaarts van deze plek mondt de beek opnieuw uit in een vijver. Ook op de helling boven de vijver is een plateautje, waar enige kwel te bespeuren is. Een echt stroompje is het de laatste twee jaar niet.

Drainbuizen voeren water af uit een uitgezakt deel van de helling waar de beek onderdoor gaat.

Dit zijn de laatste plaatsen waar momenteel echt zichtbaar water uittreedt. Mogelijk is er bij de vijver verderop nog sprake van enige toestroom van water in regenrijke

Vooronderzoek hydrologie Doorwerthsche Waarden
Kaart Kwelverschijnselen

Kwelverschijnselen
half gesmolten ijs
geen ijs

N

0 100 200 300 400 500 Meters

perioden, maar een echte bron is daar niet. Onder de rododendrons is gegraven tot beneden het waterniveau van de vijver, maar er is geen water gevonden.

Kwelplekken

Wel zijn er nog allerlei plekken die niet dichtvriezen, zowel in de beek als in de uiterwaarden. In de beek kan daarbij sprake zijn van kwel, hoewel sommige plekken ook verklaard kunnen worden uit de beschutte ligging tussen hellingen, onder een grote boom of struik of doordat het beekwater er relatief snel stroomt. Toch blijven er dan plekken over waar mogelijk sprake is van enige kwel. De plekken waar vorst minder invloed heeft zijn aangegeven op het kaartje Kwelverschijnselen.
Behalve van kwel uit de stuwwal, kan er in de uiterwaarden ook sprake zijn van kwel uit de rivier. De periode waarin de kwelverschijnselen zijn geïnventariseerd was weliswaar vlak na de hoogwaterpiek van eind februari, toen het water weer aan het zakken was, maar dat hoeft geen reden te zijn voor afwezigheid van wateruitwisseling tussen oppervlaktewater en grondwater, integendeel. Er beweegt zich water door de bodem, en dit kan ongetwijfeld ook het oppervlaktewater beïnvloeden.
Speciale aandacht is besteed aan het Ottergat. Volgens Supèr en Gommer zou dit een kwelgebied zijn. Er is echter geen kwelverschijnsel gevonden, anders dan dat het niet snel dichtvriest. Dit duidt op uitwisseling met het grondwater, maar dit hoeft niet noodzakelijkerwijs kwel te zijn, in die zin dat er een permanente toestroom van water plaatsvindt.
Ook op andere plaatsen in de Doorwerthsche Waarden, met name langs de stuwwalrand zijn geen kwelverschijnselen waargenomen, anders dan (mogelijke) uitwisseling met grondwater.

Sommige plekken die niet dichtvriezen zijn eigenlijk alleen te verklaren door kwel.

2.3.4 Grondwater

In dit onderzoek is in kwalitatieve zin gekeken naar de grondwaterstanden en het verloop daarvan in de tijd in de stuwwal. Daartoe is de grondwaterdatabase van DINO geraadpleegd. Er is een periode van 20 jaar bekeken: 1985 - 2004.

Vooronderzoek hydrologie Doorwerthsche Waarden
Kaart peilpunten Dino (TNO)

N

Tno-buizen
Raai dinobuizen.shp

0 400 800 1200 1600 2000 Meters

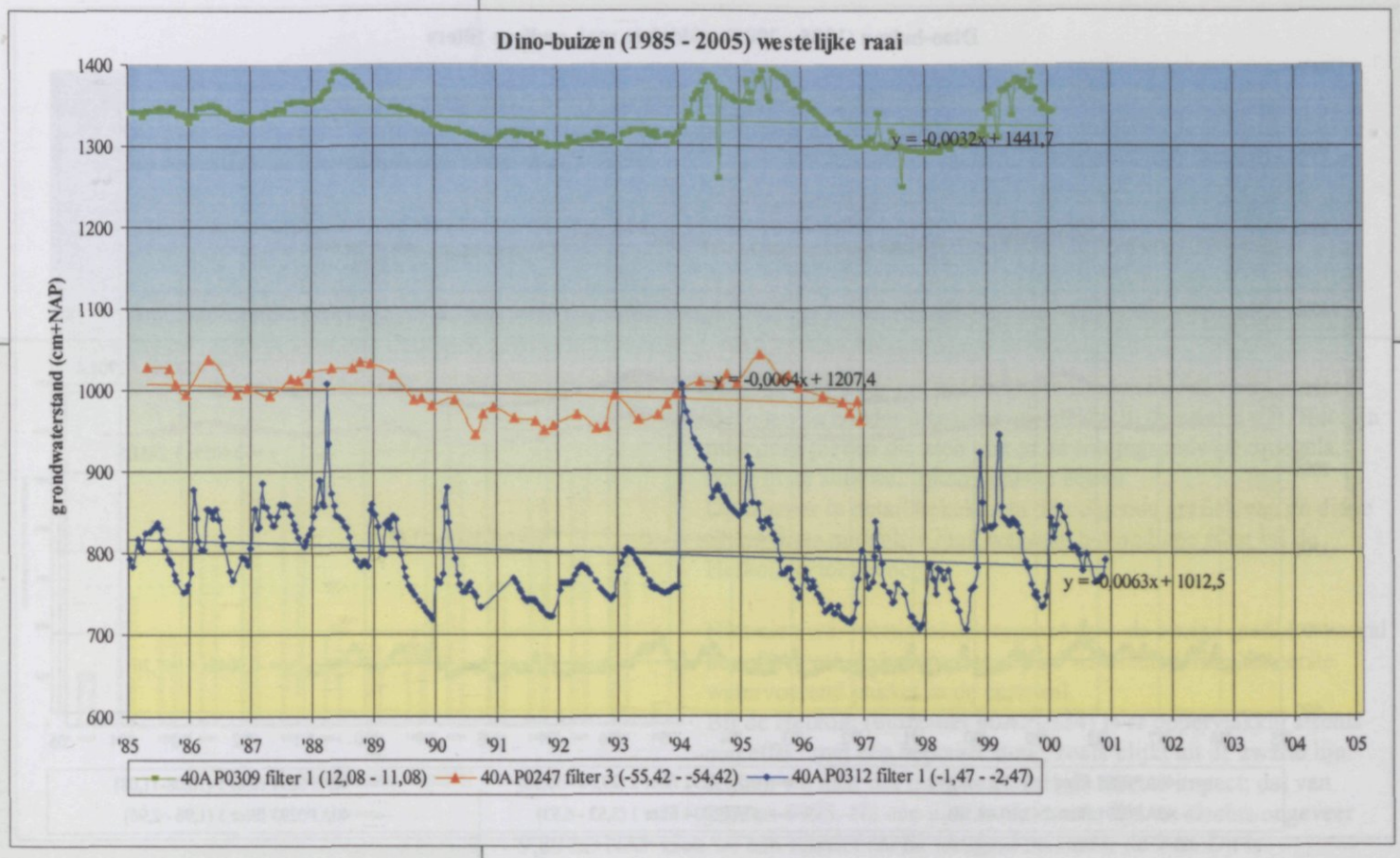
Op de volgende bladzijde zijn de gegevens uitgezet in tijdstijghoogtelijnen. Er zijn verschillende raaien van buizen uitgezet. Er zijn drie globaal noord-zuid lopende raaien getrokken:

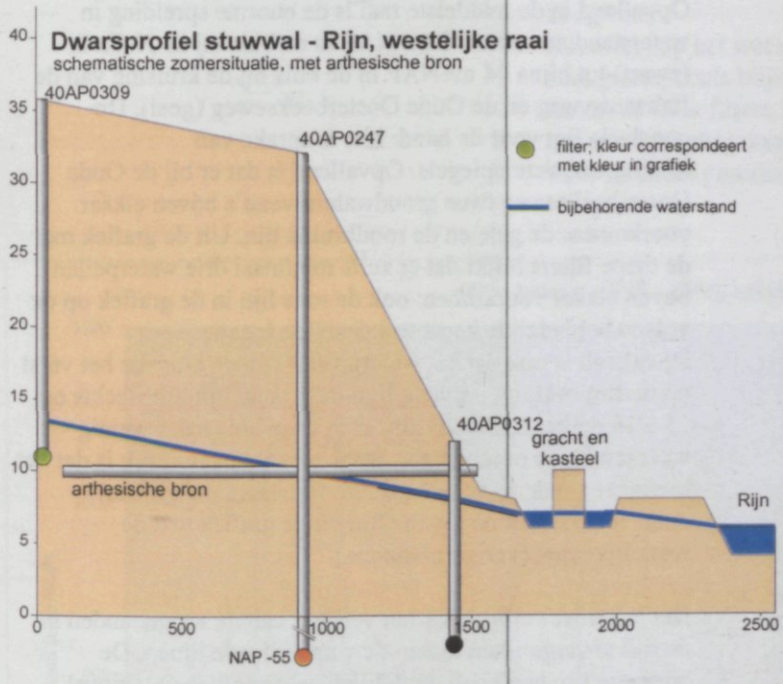
- westelijke raai: V.d. Molenallee - Rolandseck - kasteel - Rijn
- middelste raai: centrum Doorwerth - Duno - Helkolk
- oostelijke raai: bron Seelbeek - Heveadorp - Driel

Tevens zijn er trendlijnen in getrokken, die een indicatie geven van langjarige trends in de grondwaterstanden. Ook de vergelijking van de trendlijn is weergegeven.

Bij het beoordelen van de tijdstijghoogtelijnen is het zaak de schaal op de y-as in de gaten te houden. Deze is bij alle grafieken anders.

Er blijkt in de stuwwal sprake te zijn van verdroging. In de afgelopen 20 jaar is de waterstand gemiddeld met ruim 2 cm per jaar gedaald (de x-waarde is gegeven in dagen, de y-waarde in cm; het getal voor de "x" geeft dus de gemiddelde daling in cm per dag). Wat verontrustend is dat deze trend zich voordoet onafhankelijk van plaats en diepte en dus duidt op een algemeen verschijnsel in de stuwwal. Overigens moet daarbij wel gezegd worden dat de meetreeksen verschillen in duur.

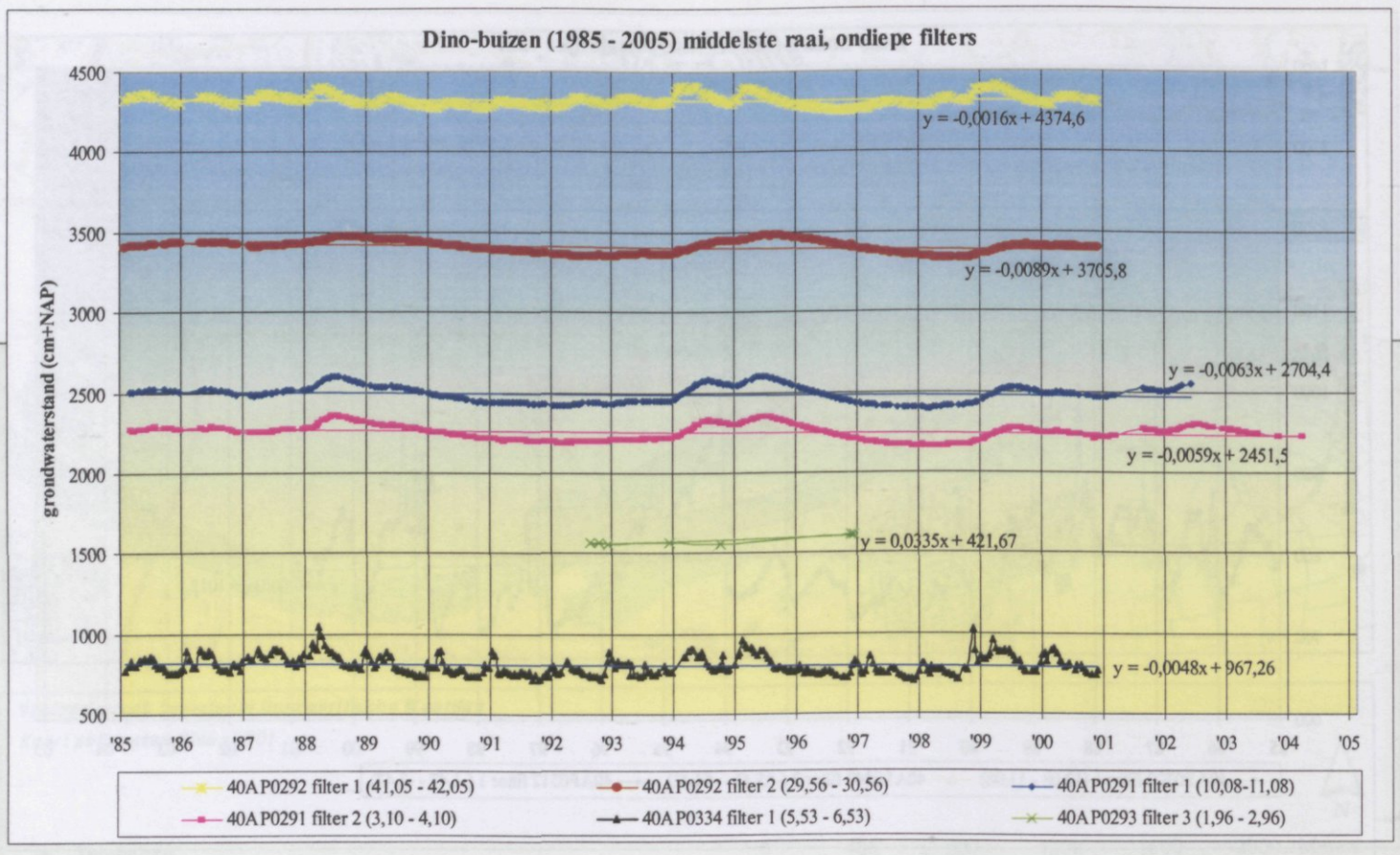




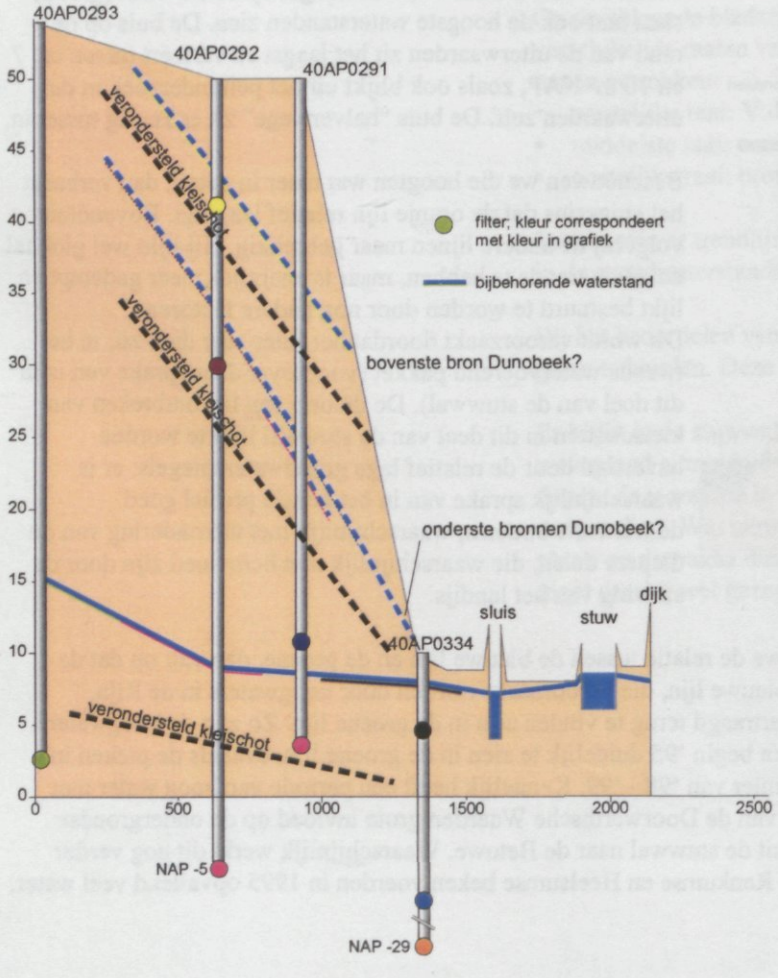
In deze grafiek zien we een op het eerste gezicht een verwacht beeld: de buis die het verst en hoogst op de stuwwal (groen) staat laat ook de hoogste waterstanden zien. De buis op de rand van de uiterwaarden zit het laagst en varieert tussen ca. 7 en 10 m+NAP, zoals ook blijkt uit het peilonderzoek in de uiterwaarden zelf. De buis "halverwege" zit er keurig tussenin.

Beschouwen we die hoogten wat meer in detail, dan verbaast het enigszins dat de oranje lijn relatief laag ligt. Bovendien volgt hij de andere lijnen maar gebrekkig. Hij lijkt wel globaal dezelfde trends te hebben, maar is enerzijds meer gedempt en lijkt bestuurd te worden door nog andere factoren.
Dit wordt veroorzaakt doordat het filter zeer diep zit; in het tweede watervoerend pakket (voorzover daar sprake van is in dit deel van de stuwwal). De theorie van het ontbreken van kleischotten in dit deel van de stuwwal lijkt te worden bevestigd door de relatief lage grondwaterspiegels: er is waarschijnlijk sprake van in het gehele profiel goed doorlatende bodems, waarschijnlijk met uitzondering van de diepere delen, die waarschijnlijk niet beïnvloed zijn door de stuwing van het landijs.

Beschouwen we de relatie tussen de blauwe lijn en de groene, dan valt op dat de pieken in de blauwe lijn, die veroorzaakt worden door hoogwaters in de Rijn, gedempt en vertraagd terug te vinden zijn in de groene lijn. Zo zijn de hoogwaters van eind '93 en begin '95 duidelijk te zien in de groene lijn, evenals de pieken in 1988 en de winter van '98 - '99. Kennelijk heeft een periode van hoog water met overstroming van de Doorwerthsche Waarden grote invloed op de ondergrondse stroming vanuit de stuwwal naar de Betuwe. Waarschijnlijk werkt dit nog verder door, want de Renkumse en Heelsumse beken voerden in 1995 opvallend veel water.



Dwarsprofiel stuwwal - Rijn, middelste raai
schematische zomersituatie

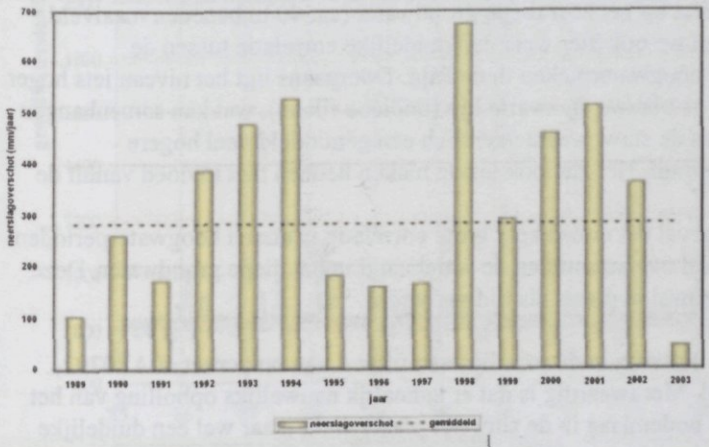


Opvallend in de middelste raai is de enorme spreiding in waterstanden: van ca. 8 m+NAP in de buis bij de Helkolk (zwart) tot bijna 44 m+NAP in de buis bij de kruising van de Italiaanse weg en de Oude Oosterbeekseweg (geel). De conclusie ligt voor de hand: hier is sprake van schijngrondwaterspiegels. Opvallend is dat er bij de Oude Oosterbeekseweg twee grondwaterniveau's boven elkaar voorkomen: de gele en de roodbruine lijn. Uit de grafiek met de diepe filters blijkt dat er zelfs minimaal drie waterpeilen boven elkaar voorkomen: ook de roze lijn in de grafiek op de volgende bladzijde komt van dezelfde locatie.
Opvallend is ook dat het waterniveau van de buis die het verst op de stuwwal ligt erg laag ligt: de groene lijn ligt slechts op 15 à 16 m+NAP. Helaas zijn er in deze buis maar weinig waarnemingen beschikbaar, maar zeer waarschijnlijk is dat het hier gaat om de regionale grondwaterstand, die globaal overeenkomt met de groene lijn uit de grafiek van de westelijke raai (vorige bladzijde).

Het is verder verleidelijk het verloop van de waterstanden in de tijd te vergelijken tussen de verschillende lijnen. De bovenste lijn heeft een duidelijke jaarperiodiciteit, vrijwel zeker veroorzaakt door het neerslagoverschot.

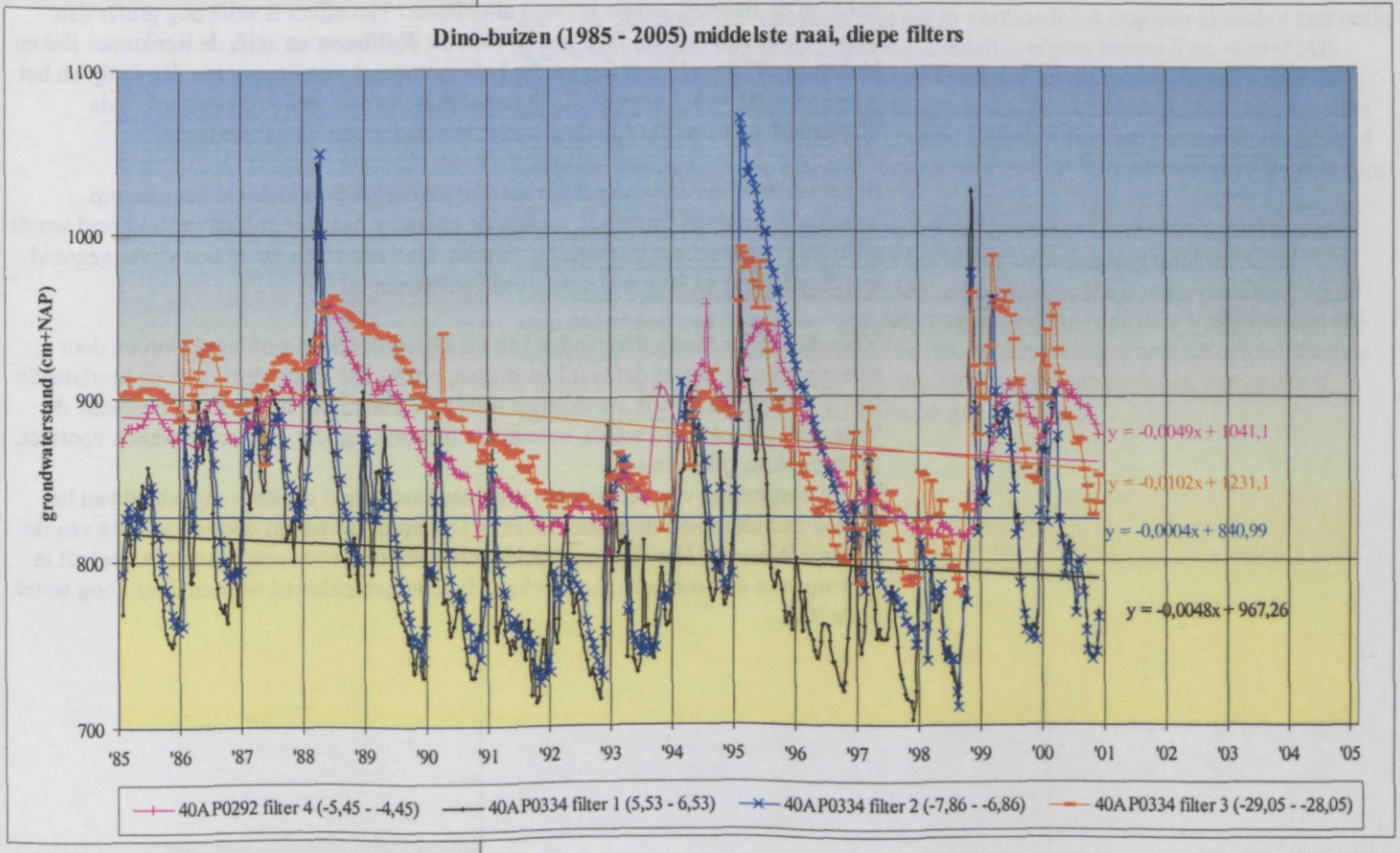
Vergelijken we dit met de neerslagoverschotten in de grafiek hierboven, dan missen we toch een duidelijke correlatie. In de gele lijn zien we pieken in 1988, 1994, 1995 en 1999. In de grafiek met de neerslagoverschotten hiernaast zien we inderdaad hoge neerslagoverschotten in de jaren daarvoor, maar een echt duidelijke relatie is er niet, terwijl deze waterstand toch snel reageert op seizoensinvloeden.

Opvallend is dat er wel een duidelijke correlatie lijkt te bestaan met de onderste (blauwe) lijn: de buis bij de Helkolk met een filter bovenin het 1e watervoerend pakket. Deze wordt sterk beïnvloed door de stand van de Rijn,



en met name door een aantal overstromingen van de uiterwaard. Deze geven zonder uitzondering pieken in de zwarte lijn. Het zijn juist deze pieken die zich ook in de schijngrondwaterspiegels, hoog in de stuwwal lijken voort te zetten.
Dit is meer in detail bekeken in de volgende grafiek van de diepe filters in de middelste raai, waaraan het ondiepe filter bij de Helkolk is toegevoegd.

Hier zien we - verticaal uitvergroot t.ov. de vorige grafiek - vooral het effect van de hoogwaters op de waterstanden in het eerste watervoerend pakket in de stuwwal.
Bij de Helkolk (buizenset 40AP0334) is er oppervlakkig slechts een effect met een beperkte duur, zoals blijkt uit de zwarte lijn. Kijken we naar het hoogwater met de meeste impact: dat van januari 1995. Na een piek in de zwarte lijn tot slechts ongeveer 9,80 m+NAP zien we een relatief snelle terugval tot onder de 9 m. Dit is merkwaardig, ook omdat bij andere hoogwaters deze buis sterk reageert op het hoogwater.
Het effect op het wat diepere grondwater in het eerste watervoerend pakket is echter veel groter, zoals blijkt uit de blauwe lijn. Doorgaans is er een zeer hoge correlatie tussen de twee filters, waarbij het diepe - zoals te verwachten is - iets vertraagd en iets minder heftig reageert. Een verklaring voor de verschillen in de periode 1995 - 1997 ontbreekt momenteel.



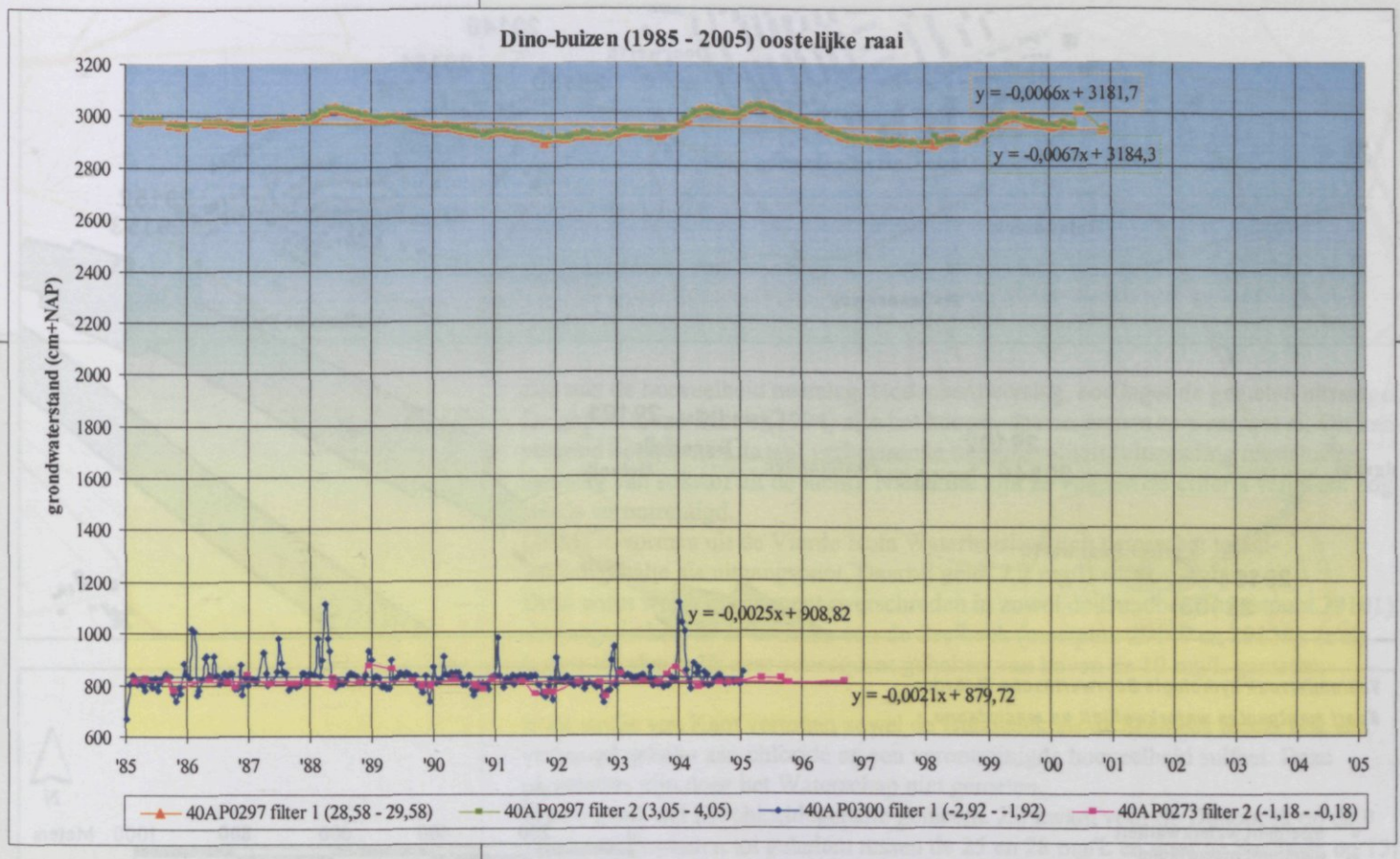
Bekijken we het effect op het zeer diepe grondwater (ca. 40 m beneden maaiveld, oranje lijn), dan zien we ook hier weer een duidelijke correlatie tussen de waterstanden en de hoogwaterpieken in de Rijn. Doorgaans ligt het niveau iets hoger dan het niveau van de blauwe en zwarte lijn (ondiepe filters), wat kan samenhangen met de nabijheid van de stuw, waarachter zich een gemiddeld veel hogere grondwaterstand bevindt. Het kan ook iets te maken hebben met invloed vanuit de stuwwal.
Duidelijk is in elk geval dat er een zeer grote correlatie is tussen hoogwaterperioden waarbij de uiterwaard overstroomt en de waterstand in het diepe grondwater. Deze pieken zetten zich zowel in plaats als tijd ver voort.

Qua plaats zien we dit terug in de roze lijn van filter 4 van buizenset 40AP0292, hoog op de stuwwal. Merkwaardig is dat er kennelijk nauwelijks opbolling van het grondwater in deze bodemlaag in de stuwwal plaatsvindt, maar wel een duidelijke correlatie met de hoogwaters in de Rijn. Ook hier zijn de kleischotten weer een belangrijke verklaring. Er vindt hier kennelijk geen voeding plaats van bovenaf. Variaties worden dus vooral lateraal gevoed via de zeer doorlatende pakketten zand en grind, die het water horizontaal transporteren tussen de Rijn en de diepere lagen van de stuwwal.

Wat merkwaardig blijft is de opvallende impact die er lijkt te zijn van deze hoogwaters op de waterstand in de schijngrondwaterspiegels. Als we terugbladeren naar de grafiek met de buizen 40AP0291 en 40AP0292, zien we de hoogwaterperioden waarin de uiterwaard volliep duidelijk terug in de grondwaterspiegels: 1988, 1994, 1995 en 1999. Hoe kan de waterstand in de Rijn zo hoog op de stuwwal zoveel invloed uitoefenen? Het effect is zelfs nog groter dan alleen op de stuwwal bij Doorwerth. Ook de Wolfhezer en zelfs de Renkumse Beken bleken in 1995 veel meer (en verder bovenstrooms) water te voeren dan in tijden het geval geweest was. Loopt een toch tamelijk kortstondige hoogwaterpiek in de uiterwaarden zo ver door in de grondwaterstanden van de gehele regio?

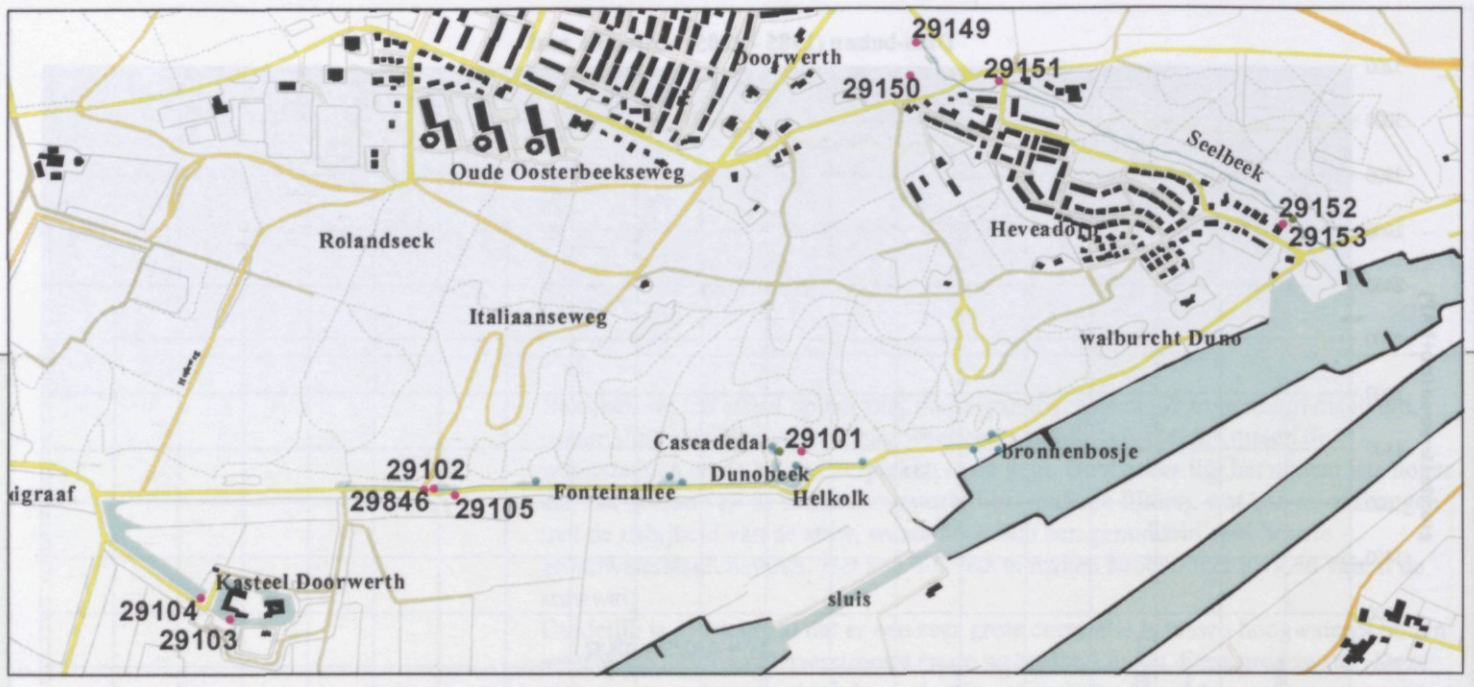
In het eerste watervoerend pakket zou dat natuurlijk best kunnen: het gaat om tamelijk doorlatend materiaal, waarin de stroming naar het zuiden geblokkeerd wordt en zelfs een omgekeerde stroming ontstaat. Ook een steen die in een vijver gegooid wordt golft nog na lang nadat de steen verdwenen is.

Voor de schijngrondwaterstanden kan dit eigenlijk alleen verklaard worden door spanningswater: water dat niet kan stijgen, omdat het is afgedekt door ondoorlatende lagen. Dit kan natuurlijk voorkomen tussen de kleischotten. Als in zo'n situatie de "uitgang" geblokkeerd wordt, ontstaat er filevorming, die zich achterwaarts voortzet, en dus ook naar boven toe.
Bij de bespreking van de debieten is echter vastgesteld dat het vanggebied van het gebied met kleischotten relatief klein is. Dit wordt bevestigd door de analyse van de peilbuisgegevens. Het daar inzijgende water stroomt voor een belangrijk deel uit in de vorm van de bronnen van de beken, die niet geblokkeerd worden door hoog water in de Rijn.

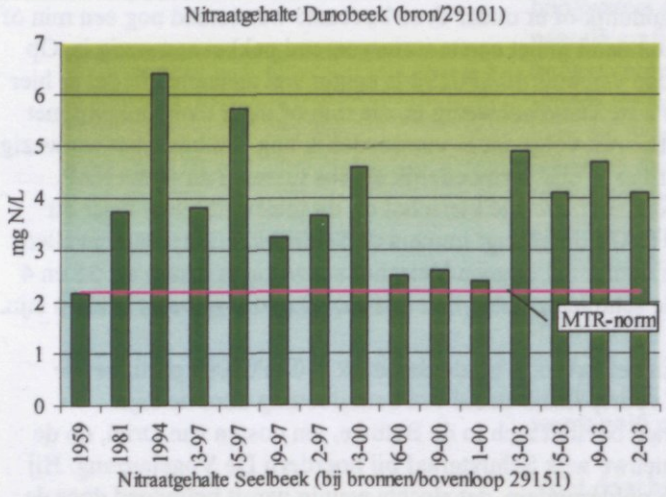


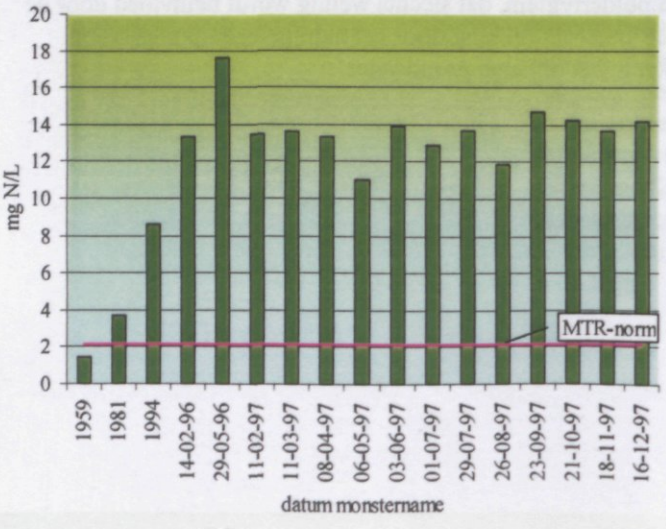
Bezien we tenslotte de oostelijke raai, dan zien we eigenlijk geen nieuwe verrassingen. We zien twee samenvallende lijnen rond ca. 30 m+NAP, gemeten bij Restaurant De Valkenier aan de kruising van de Beeklaan met de Oude Oosterbeekseweg, een eindje onder de bronnen van de Seelbeek. De diepte van het tweede filter is echter aanzienlijk groter dan dat van het eerste filter. Bij gebrek aan een derde filter is niet duidelijk of er onder deze bovenste waterstand nog een min of meer onafhankelijke waterstand in het eerste watervoerend pakket aanwezig is. Op grond van de waterstanden van buis 40AP0292 is echter wel aannemelijk dat er hier op enige diepte nog een waterstand aanwezig is, die min of meer overeenkomt met die in de uiterwaarden. Daaruit volgt dat er vermoedelijk nog een kleischot aanwezig is beneden het peil van filter 2, dus vermoedelijk ergens tussen 3 en -4 m+NAP. Het lijkt waarschijnlijk dat het bovenste kleischot op dit punt ontbreekt: waar dit dagzoomt (op ca. 35 m+NAP) ontspringt immers de Seelbeek. Uit het samenvallen van de twee lijnen blijkt verder dat er geen kleischot aanwezig is tussen ca. 25 en 4 m+NAP. De opgestuwde schollen zouden hier dus ca. 30 m dik geweest kunnen zijn.

De buis net westelijk van het haventje bij de Seelbeek (40AP0300) geeft met de blauwe lijn een redelijk voorspelbaar beeld van beïnvloeding door de Rijn.
De laatste buis in deze raai bevindt zich in de Betuwe, ten oosten van Driel, op de noordoosthoek van de nieuwe wijk Schuytgraaf bij boerderij De Vogelenzang. Hij weerspiegelt een typisch polderregiem, dat slechts weinig wordt beïnvloed door de pieken in de Rijn. Ook de wateronttrekking door het nabijgelegen pompstation Fikkersdries is niet te zien in het ondiepe grondwater.



2.3.5 Waterkwaliteit





Van de waterkwaliteit zijn gegevens bekend uit verschillende incidentele onderzoeken. De oudste betreffen die van Maas (F.M.) uit 1959. In zijn dissertatie naar de oecologische en plantensociologische aspecten van beken op de Veluwe heeft hij ook metingen gedaan aan het nitraatgehalte van diverse beken.
Kant vermeldt dat Maas in de Dunobeek 2,17 mg N/L aantrof en in de Seelbeek 1,45 mg N/L. Ter vergelijking: in de Renkumse Beek werd slechts een spoor aangetroffen. Kant (1982) beschouwt meer dan 0,5 mg N/L als verhoogd en meer dan 3 mg N/L als serieus verontreinigd.
Deze hoge gehaltes aan stikstof worden in verband gebracht met de bedekking met bos, dat veel stikstof uit de lucht invangt en via het ondiepe grondwater toevoert aan de beken (mond. meded. F. de Bles van Ws V&E).

In 1981 was het gehalte in de bron van de Dunobeek 3,75 mg N/L en in de bron van de Seelbeek 3,73 mg N/L (Kant, 1982). Het gehalte in de Renkumse beek was toen opgelopen naar 5,75 mg N/L.
De gehaltes fosfaat waren toen: Dunobeek: 0,06 mg/L, Seelbeek: <0,02 mg/L.

Ook Blauw (1994) heeft de chemische waterkwaliteit onderzocht (op al haar meetlocaties, d.w.z. het gehele beektraject). Zij vond in de bron van de Dunobeek opnieuw hogere gehaltes aan nitraat: 6,4 mg/L, evenals in de Seelbeek: 8,6 mg/L.

Opvallend is dat deze gehalten sindsdien weer zijn gedaald zoals blijkt uit de reeks waarnemingen van het Waterschap Vallei en Eem. Aangezien deze waarnemingen regelmatiger zijn gedaan, is er wat beter verband te leggen met andere factoren. Er lijkt een verband te

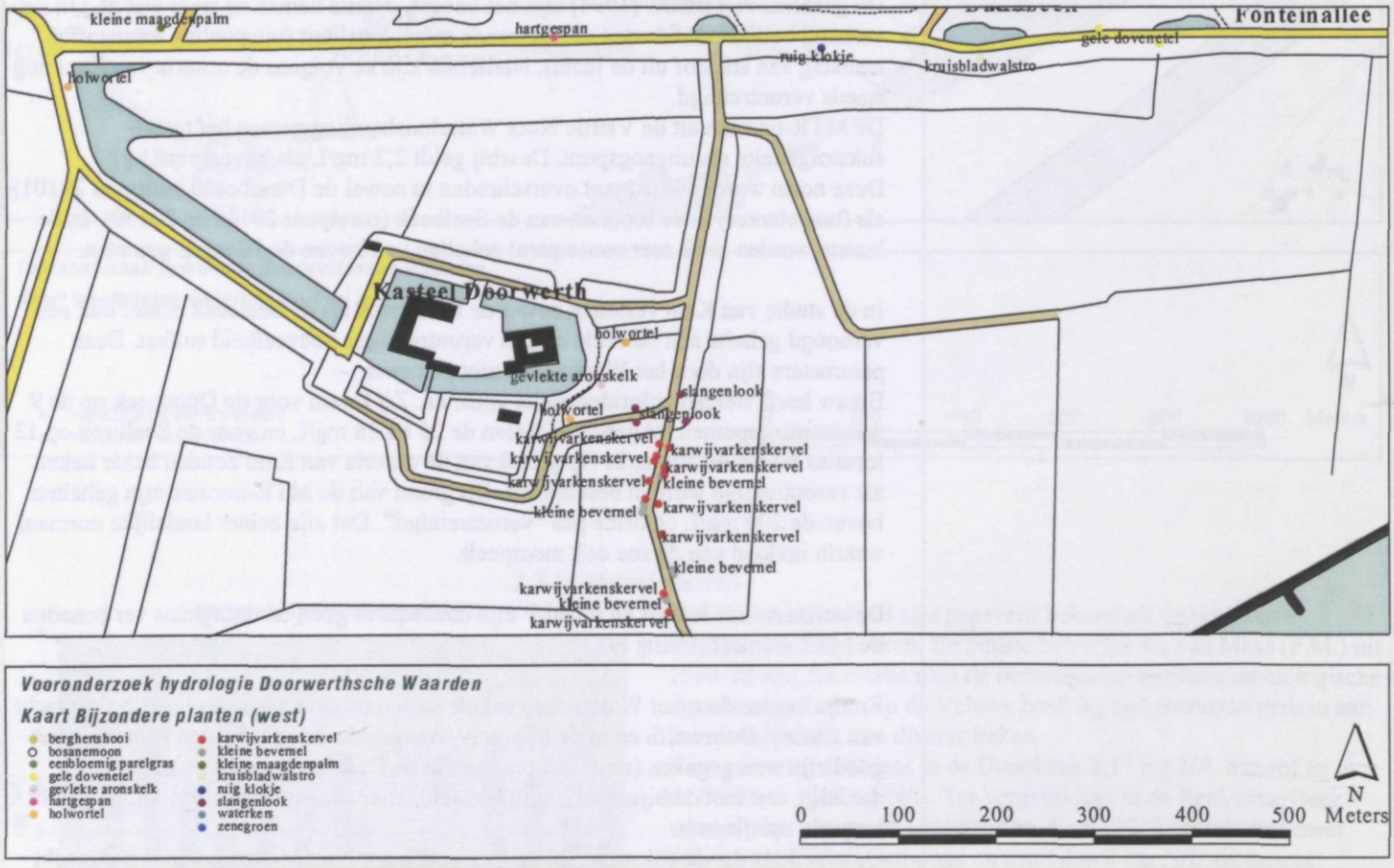
zijn met de hoeveelheid neerslag. Hoe meer neerslag, hoe lager de gemeten nitraatgehalt
De gehalten van Blauw (1994) zijn het hoogst, daarna nemen ze weer wat af. Dit kan verband houden met de wat verbeterende milieukwaliteit (uitspoeling meststoffen, neerslag van stikstof uit de lucht). Niettemin zijn ze volgens de criteria van Kant nog steeds verontreinigd.
De MTR-normen uit de Vierde Nota Waterhuishouding nemen het totaal-stikstofgehalte als uitgangspunt. Daarbij geldt 2,2 mg/L als bovengrens.
Deze norm wordt consequent overschreden in zowel de Dunobeek (meetpunt 29101) als (nog sterker) in de bronnen van de Seelbeek (meetpunt 29149 en 29150). In de laatste worden zelfs zeer consequent gehalten van boven de 10 mg/L gemeten.

In de studie van Kant vertonen zowel de Dunobeek als de Seelbeek echter ook een verhoogd gehalte aan chloride en een verontreinigde hoeveelheid sulfaat. Deze parameters zijn door het Waterschap niet gemeten.
Blauw heeft wel het chloridegehalte gemeten. Zij kwam voor de Dunobeek op de 9 waarnemingspunten tot gehalten tussen de 25 en 28 mg/L en voor de Seelbeek op 13 locaties boven de 30 mg/L. Op grond van de criteria van Kant zouden beide beken als verontreinigd worden beschouwd. Op grond van de MTR-normen zijn gehalten boven de 200 mg/L chloride pas "verontreinigd". Dat zijn echter landelijke normen, waarin invloed van de zee ook meespeelt.

De normen voor fosfaat en totaal-P zijn consequent goed en doorgaans ver beneden de MTR-norm (0,15 mg P/L).

Er zijn verder door het Waterschap enkele malen monsters genomen in de slotgracht van Kasteel Doorwerth en in de bijgracht. Aangezien de coördinaten kennelijk niet goed zijn weergegeven (ze geven plaatsen in de Dunobeek aan), is niet geheel duidelijk wat met de bijgracht wordt bedoeld. Hier is aangenomen dat dit de gracht langs de oprijlaan is.
Opvallend is dat de stikstofgehalten hier veel lager zijn. Met name in de slotgracht voldoet de waterkwaliteit aan de MTR-norm voor totaal-N. De "bijgracht" heeft een licht verhoogd stikstofgehalte (juli 2002), geheel te wijten aan gebonden stikstof. De bijgracht staat via de Leigraaf in rechtstreekse verbinding met de Dunobeek, zodat dit een verklaring zou kunnen zijn. Hij voert echter ook water af uit het oostelijk deel van de Doorwerthsche Waarden en kan dus ook belast zijn met meststoffen uit dat gebied.
Het stikstofgehalte in de Dunobeek is ter hoogte van de Italiaanseweg gedaald t.o.v. de de gehaltes dichtbij de bronnen, maar nog vaak boven de MTR-norm.
Zowel in de slotgracht als in de bijgracht is het fosfaatgehalte boven de MTR-norm.

Op grond van het voorgaande en de verdere analyses zijn een aantal conclusies te trekken:
- de beken hebben een (te) hoog stikstofgehalte
- de beken hebben een laag fosforgehalte
- de beken hebben een goed zuurstofgehalte
- de beken voldoen aan de normen voor zware metalen
- toeleiden van het water van de beken naar de slotgracht kan tot gevolg hebben dat de waterkwaliteit verslechtert en er algenbloei of een anderszins verhoogde plantengroei ontstaat (combinatie van stikstof en fosfaat) door de toevoer van stikstof in een tamelijk gesloten systeem.

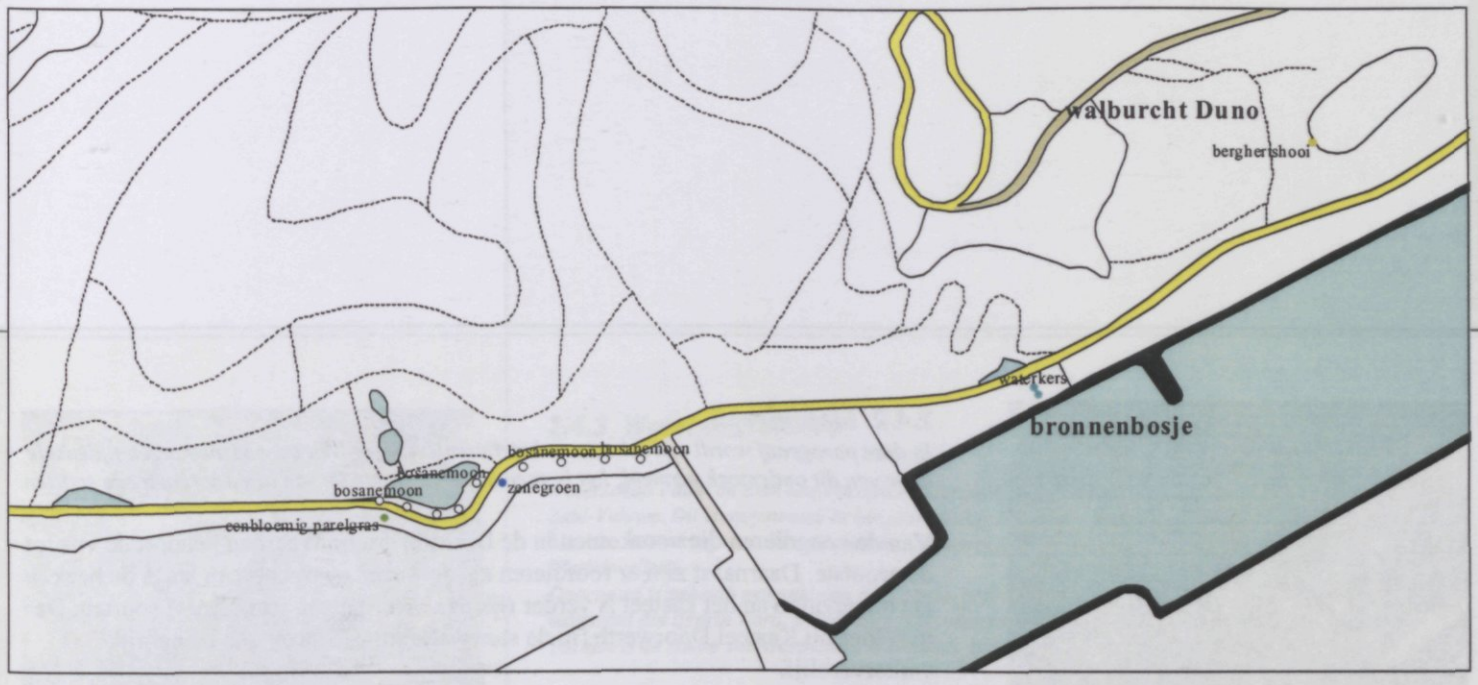


Kruipend zenegroen langs de Fonteinallee bij de Helkolk

2.4 Levensgemeenschappen

2.4.1 Flora en vegetaties

In dit stuk zijn gegevens verwerkt die zijn aangeleverd door Etienne Corten, waarvoor dank.
In het algemeen staan flora en vegetatie in de Doorwerthsche Waarden sterk onder invloed van het gebruik door de mens. Met name de landbouw is er relatief intensief voor een uiterwaardgebied, waardoor de vegetaties vooral bestaan uit raaigrasweiden en maïsakkers. Alleen plaatselijk op de oeverwallen en langs de randen van de stuwwal komen enkele stroomdalsoorten, zoals kattendoorn en kruisdistel voor. De Veerweg is hierin een uitzondering. Deze relatief hooggelegen weg heeft in de bermen halfnatuurlijke vegetaties van hoge, zandige uiterwaarden, met o.m. dubbelkelk, kleine bevernel en karwijvarkenskervel. Verder zien we er opslag van karakteristieke struiken, zoals meidoorn en hondsroos en boomsoorten als de gewone es.
De oevers van de Rijn zijn vrijwel overal zeer kunstmatig (steenbestortingen) en door de invloed van de landbouw komen er nauwelijks karakteristieke planten voor.



Vooronderzoek hydrologie Doorwerthsche Waarden

Kaart Bijzondere planten (oost)

- berghertshooi
- bosanemoon
- eenbloemig parelgras
- gele dovenetel
- gevlekte aronskelk
- hartgespan
- holwortel
- karwijvarkenskervel
- kleine bevernel
- kleine maagdenpalm
- kruisbladwalstro
- ruig klokje
- slangenlook
- waterkers
- zenegroen

N

0 100 200 300 400 500 Meters

Voor de voet van de stuwwal geldt dit veel minder. Het bostype is weliswaar sterk beïnvloed door de mens, maar vertoont op veel plaatsen karakteristieken van de potentieel natuurlijke vegetatie. Naast vrij rijke vormen van het eiken-beukenbos met o.a. eenbloemig parelgras, ruig klokje, bosanemoon, kruipend zenegroen en ijle zegge, zijn er plaatselijk ook soorten van het abelen-iepenbos (hardhoutooibos) met soorten als bosrank en zoete kers. Plaatselijk komen veel haagbeuken voor.
In het bosje achter het kasteel komen diverse soorten stinzeflora voor, waaronder holwortel, gevlekte aronskelk en daslook. Op de dijk om het kasteel komt op diverse plaatsen slangenlook voor.

Langs de Dunobeek vindt men groot heksenkruid en ijle zegge, soorten van vochtige bossen. Ook de vegetaties van de beken en bronnen kunnen als min of meer halfnatuurlijk bestempeld worden, zij het dat deze maar over zeer kleine oppervlakten voorkomen en mede daardoor een nogal fragmentair karakter hebben. Daarnaast zijn ze met name in het (elzen)bronnenbosje sterk verruigd, vermoedelijk door invloed van rivierwater, waardoor er grote hoeveelheden grote brandnetel voorkomen. Verder komt hier watermunt en beekpunge voor. In het beekje aan de oostzijde van het bronnenbosje komt waterkers voor. Dit werd door Blauw (1994) ook aangetroffen in de Helkolk, bij de uitstroom van de waterval. Deze groeiplaats is niet meer gevonden.
Hoewel de rivieroevers hier ook bestort zijn, is de achterliggende vegetatie hier veel minder beïnvloed door de landbouw, zodat er veel structuurrijke ruigte voorkomt.

Gewoon bosvioltje langs de Fonteinallee

Vermeldenswaard zijn verder nog enkele planten op de overgang van stuwwal naar uiterwaard: de zeldzame hartgespan bij/op de wegversmalling ter hoogte van het kasteel. Deze is bij het wegbeheer in het seizoen 2005 reeds twee maal zwaar beschadigd. Voor het voortbestaan van deze groeiplaats wordt dan ook gevreesd.
In de omgeving van de manege van Olsmeijer (vlak bij de A50) komt op de overgang tussen bos en weiland een vrij grote groeiplaats voor van pijpbloem, temidden van brandnetels. Plaatselijk staan ook nog andere soorten van dergelijke overgangen, zoals hemelsleutel en gewoon bosvioltje.
Tenslotte wordt hier het berghertshooi vermeld, voorkomend aan de noordkant van de oostelijke trap naar de walburcht Duno.

Wezel in holtes tussen boomwortels langs de Dunobeek

Broedholte bij de bron van de Dunobeek: ijsvogel?

2.4.2 Dierenleven

In deze paragraaf wordt een schets van het dierenleven gegeven en waarnemingen tijdens de duur van dit onderzoek vermeld; het is geen uitputtende studie van alle voorkomende soorten.

Van de zoogdieren die voorkomen in de Doorwerthsche Waarden behoort de vos tot de grootste. Daarnaast zijn er roofdieren als de wezel waargenomen langs de beek. De omgeving van het kasteel is verder rijk aan vleermuizen van diverse soorten. De ijskelder bij Kasteel Doorwerth (in de stuwwalrand) is daarbij een belangrijk winterverblijf.
In de uiterwaarden komen haas en konijn vrij algemeen voor.

De vogelbevolking is rijk te noemen, onder meer als gevolg van de overgang van de stuwwal naar het rivierengebied. Er komen veel vogelsoorten van oud loofbos voor. De havik wordt er veel waargenomen. Langs de beken wordt geregeld melding gemaakt van het voorkomen van ijsvogels, o.m. langs de Duno waar ook broedgaten worden vermeld.
In de uiterwaarden worden incidenteel broedgevallen waargenomen van porseleinhoen en kwartelkoning. Verder fungeert het als gebied voor wintergasten, waaronder kolgans en brandgans. Het is echter geen bijzonder rijk ganzengebied. Brandgans en grauwe gans broeden ook in toenemende mate op het stuweiland.

Van de reptielen komen hazelworm en ringslang voor. De hazelworm vooral op de stuwwal, de ringslang vooral in de uiterwaarden.
Als soort met de hoogste status onder de amfibieën komt de kamsalamander voor, onder meer in de poelen ten zuiden van de oprijlaan van het kasteel (mond. meded. Etienne Corten). Verder komen rugstreeppad, gewone pad, groene en bruine kikker voor.

Van de vissen zijn geen bijzonderheden bekend, evenals van ongewervelde dieren anders dan watermacrofauna. Blauw haalt De Boer (1978) aan en noemt voor de Helkolk de vissen voorn, karper, bliek, brasem en snoek. Karpers zijn ook recent waargenomen.

De waterval die uitkomt in de Helkolk (onderste vijver van de Dunobeek): de enige vindplaats van de muggelarve Orthocladius frigidus in Nederland

2.4.3 Watermacrofauna

Waterschap Vallei en Eem heeft in 2003 onderzoek gedaan naar de macrofauna in de beken van de Zuid-Veluwe. Dit is opgenomen in het jaarverslag 2003 van Waterschap Vallei en Eem. Het volgende is hier een bewerking van. De meetpunten zijn aangegeven op de kaart bij de paragraaf 2.3 Waterkwaliteit.
Daarnaast is gebruik gemaakt van historische bronnen: Claessens, 1978, Blauw, 1994 en nog ouder materiaal dat daarin wordt beschreven: Oomen en Geelen, 1963 en Venema, 1974.
Tot slot is de studie van Gardeniers en Peeters uit 2005 verwerkt.

Het stroomgebied van de Zuid-Veluwse Beken kent binnen het werkgebied van het Waterschap de hoogste natuurwaarden door het schone water en de hoge stroomsnelheden. Met name in de Duno en de Seelbeek zijn veel zeldzame soorten aangetroffen en deze beken scoren dan ook relatief hoog in de beoordeling.

In het stroomgebied "Zuid-Veluwse Beken" is op acht meetlocaties hydrobiologisch onderzoek uitgevoerd. De Renkumse en Heelsumse Beek hebben elk een meetlocatie en in de Oosterbeekse beken liggen diverse meetlocaties, namelijk in de Duno, de Seelbeek, de Hoge Oorsprong, de Gielenbeek, de Zuiderbeek en de Slijpbeek.
De meetlocaties zijn niet nauwkeurig vastgelegd met coördinaten, maar de monsters zijn voor de Duno in de bovenloop genomen (het noord-zuid stromende deel) en in de Seelbeek in het benedenstroomse deel, maar boven de doorgang door de Veerweg.
De resultaten van de Stowa-beoordelingen (Ebeoswa) zijn in onderstaande figuur opgenomen. Hier zijn alleen de eerste 4 meetlocaties weergegeven. Het gaat daarbij om indicatieve waarden van de gevonden macrofauna-gemeenschappen.
De Duno is getoetst met twee systemen, namelijk met het systeem voor heuvellandbeken en het systeem voor laaglandbeken.
Voor alle weergegeven beken is de Hoogste Ecologische Doelstelling (HEN) toegekend. Deze wateren dienen daarom voor alle getoetste grootheden te voldoen aan het hoogste niveau. De resultaten van de afzonderlijke toetsingen zijn opgenomen in onderstaande tabel:

naam	Halveradsbeek	Heelsumse Beek	Duno		Seelbeek
locatienummer	29858	29051	29101		29152
doelstelling	HEN	HEN	HEN		HEN
toetssysteem			heuv	laag	
stroming	II	III	III	IV	V
inrichting	III	III	V	V	V
substraat	III	III	III	IV	III
saprobie	IV	III	IV	IV	IV
trofie	III	IV	IV	IV	V
voedselstrategie	III	V	III	III	III
eindoordeel	III	III	III	IV	IV

Verklaring van de termen	
HEN	Hoogste Ecologisch Niveau
heuv	heuvellandbeken
laag	laaglandbeken
V	Hoogste niveau
IV	Bijna hoogste niveau
III	Middelste niveau
II	Laagste niveau
I	Beneden laagste niveau

De bron van de Dunobeek; de restanten van de "rotsen" van ferrobeton zijn duidelijk te zien. Hier treedt "diep" (dus koud) grondwater uit

In de tabel is te zien dat geen van de onderzochte wateren volledig voldoet aan de doelstelling HEN. De Seelbeek en de Duno lijken het best te voldoen.
In alle beken, met uitzondering van de Seelbeek en de Duno, is de stroming nog onvoldoende. Toch zijn in alle beken in meer of mindere mate stromingsminnende soorten gevonden.
Over het algemeen duidt de macrofaunagemeenschap op een relatief goede waterkwaliteit. De karakteristiek 'trofie' scoort namelijk over het algemeen redelijk goed. Met uitzondering van de Halveradsbeek scoort deze karakteristiek in de HEN-wateren bijna hoogste niveau tot hoogste niveau. Ook uit de chemische gegevens blijkt de goede waterkwaliteit. De fosfaatgehalten zijn in alle beken laag en er zijn hoge zuurstofgehalten gemeten. Er zijn wel zeer hoge nitraatgehalten gemeten.

In de Zuid-Veluwse Beken is een relatief groot aantal zeldzame soorten aangetroffen. Dit is te zien in de tabel hieronder waarin voor de Dunobeek en de Seelbeek de gevonden soorten zijn opgesomd. De beek met de meeste zeldzame soorten is de Zuiderbeek, gevolgd door de Duno, de Heelsumse Beek, de Halveradsbeek, de beek op de Hemelse Berg, de Hoge Oorsprong en de Seelbeek. De Slijpbeek in Oosterbeek bevat geen tot nauwelijks zeldzame soorten en is hiermee een negatieve uitzondering op de hoge natuurwaarden die worden aangetroffen in de Zuid-Veluwse Beken.
Vermeldenswaardig is wederom de vondst van de zeer zeldzame platworm *Crenobia alpina* in de Duno. Deze soort wordt gevonden in koele bronnen (waar diep grondwater uittreedt) en in de snelstromende bovenloop van kleine bosbeekjes. Er wordt in de literatuur melding gemaakt van slechts drie vindplaatsen in Nederland. Naast de Duno zijn dit het Rijk van Nijmegen en enkele bronnen in Zuid-Limburg.
Vermeldenswaard is eveneens de aanwezigheid van de muggelarve *Orthocladius frigidus* in de waterval boven de Helkolk. Dit is zelfs de enige vindplaats in Nederland.

Duno Fonteinallee 29101 (183.600/442.430)

Soortsnaam	Zeldzaam-heid	Voorjaar (09-04-2003)	Najaar (15-09-2003)
Lebertia bracteata	zz	1	3
Orthocladius frigidus	zz	15	-
Symposiocladius lignicola	zz	-	12
Crenobia alpina	zz	10	99
Lebertia stigmatifera	z	26	4
Crunoecia irrorata	z	41	34
Corynoneura antennalis	z	-	3
Eukiefferiella brevicalcar	z	54	-
Pedicia rivosa	z	1	2
Simulium costatum	z	-	1
Micropterna sequax	vz	17	15
Krenopelopia	vz	6	-
Corynoneura lobata agg.	vz	3	-
Parametriocnemus stylatus	vz	72	3
Polycelis felina	vz	105	197

Seelbeek Heveadorp 29152 (184.520/442.900)

Soortsnaam	Zeldzaam-heid	Voorjaar (14-04-2003)	Najaar (17-09-2003)
Polypedilum convictum	zz	-	3
Lebertia lineata	z	1	1
Sperchon glandulosus	z	1	-
Elmis aenea	vz	-	1
Agapetus fuscipes	vz	-	1
Micropterna sequax	vz	18	1
Polycelis felina	vz	4	22

In het verleden zijn onderzoeken gedaan naar de macrofauna van deze beken (Blauw, 1994 en Claessens, 1978). Daarnaast zijn er minder gedetailleerde gegevens bekend van specifieke soorten of soortengroepen uit 1963 (Nijssen: Gammarus spp.; en Oomen en Geelen: Crenobia alpina en Polycelis felina). Venema (1974) herhaalde het onderzoek van Oomen en Gielen en nam in boven-, midden- en benedenloop steeds 1 macrofaunamonster, zodat een breder beeld van de samenstelling van de macrofauna in de beken ontstond.
Claessens heeft de Dunobeek (waarvan zij alleen het noord-zuid stromende deel bovenstrooms van de Helkolk als zodanig opvat) in 7 trajecten opgedeeld om zo de verschillende micromilieu's van elkaar te kunnen onderscheiden. Zij nam op 26

plaatsen monsters.
Er blijkt een vrij grote variatie tussen de verschillende trajecten te bestaan, met name als gevolg van stroomsnelheid. Ook neemt de "benedenloop" (de betonnen waterval die uitkomt in de Helkolk) een wat afwijkende plaats in.
Zij vond 72 verschillende soorten in de Dunobeek en 73 soorten in de Seelbeek. In de Hoge Oorsprong werden zelfs 115 verschillende soorten aangetroffen, maar de meeste daarvan zijn minder karakteristiek.
Met name de snelstromende delen van Duno- en Seelbeek vertonen een aantal zeldzame en karakteristieke soorten, die verwantschap aantonen met Zuid-Limburgse bronbeken.
Een aantal van de soorten uit bovenstaande tabellen van Waterschap Vallei en Eem komen niet voor in de tabellen van Claessens.

Het onderzoek van Anouk Blauw uit 1994 herhaalt in grote lijnen het onderzoek van Claessens en voegt er wederom een aantal elementen aan toe: onderzoek aan de chemische waterkwaliteit en een evaluatie van het beheer met de STOWA-methode, die ook nu nog door Waterschap Vallei en Eem wordt gebruikt (zie boven).
De Stowa beoordeling van Blauw is veel gedetailleerder dan die van het Waterschap, omdat op veel meer verschillende plaatsen is beoordeeld: voor de Dunobeek op 9 plaatsen, voor de Seelbeek op 13 plaatsen. Aangezien die plaatsen sterk verschillen in stroming, en daarmee in substraat en levensgemeenschap, is de beoordeling tamelijk divers.
Dit hangt vooral samen met de verschillen die er in vroegere tijden door de mens in de beek zijn gerealiseerd. Met name de aanleg van vijvers is daarbij zeer bepalend.
Blauw geeft ook aan dat dit een manco is in de Stowa-beoordeling, omdat die niet is toegesneden op sprengenbeken.
Vermoedelijk hangt dit meer samen met de invalshoek van de Stowa-beoordeling, die vooral beoordeelt op ecologische parameters. Beken hebben echter ook vaak een belangrijke cultuurhistorische waarde, die in de Stowa-methode niet tot uiting komt, maar bij beheersbeslissingen wel degelijk moet meewegen.

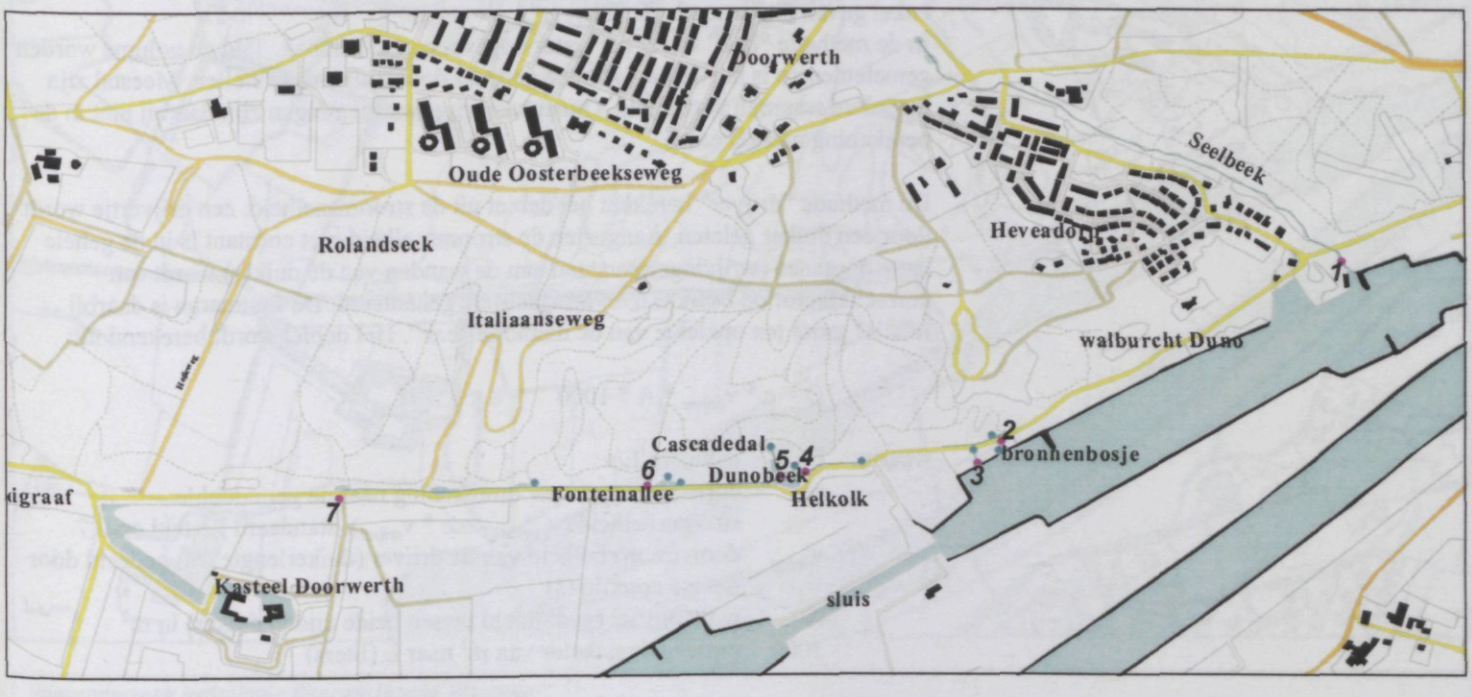
De inhoudelijke beoordeling van Blauw is dat er ten opzichte van de waarnemingen van Claessens in 1977 (rapportage 1978) de situatie stabiel is gebleven op de punten waar de methode goed toe te passen was voor vergelijking.
Deze conclusie strookt met de waarnemingen van het Waterschap zoals hierboven beschreven. De bijzondere soorten blijken ook redelijk constant in hun voorkomen, al is niet duidelijk in welke aantallen ze zijn gevonden bij de meest recente bemonstering.
Blauw constateert wel een achteruitgang in de aantallen van *Crenobia alpina*. Door Oomen en Geelen en ook door Claessens werden honderden exemplaren gevonden; zij vond er slechts enkele, eerst slechts één en bij herbemonstering drie.
Gardeniers vond in 2005 geen enkel exemplaar meer.
De oorzaak is volgens hem gelegen in het beheer van de stroomversnellingen, die in de jaren '80 van de vorige eeuw in beton zijn vastgelegd. Juist een situatie met losse stenen en snelstromend water is voor *Crenobia alpina* nodig.
De eveneens karakteristieke, zij het minder zeldzame, vlokreeften *Gammarus fossarum* en *G. pulex* zijn gebaat bij bladpakketten in de beek. Het schonen van met name de snelstromende delen van de beek dient daarom zeer kleinschalig en nooit volledig te gebeuren. Een wat rommelig beheer is wellicht cultuurhistorisch niet optimaal, maar voor het behoud van zeldzame en karakteristieke levensvormen noodzakelijk.

3 Hydrologisch veldonderzoek

Het hydrologisch veldonderzoek richt zich op zowel het grond- als het oppervlaktewater dat aanwezig is in de Doorwerthsche Waarden en het aangrenzende deel van de stuwwal.

Het valt grofweg uiteen in drie gedeelten:
- onderzoek aan de beeksystemen van Dunobeek en Seelbeek
- onderzoek naar de grondwaterrelaties tussen de Rijn en de uiterwaarden.
- onderzoek aan de kwelrelaties tussen de stuwwal en de uiterwaarden

3.1 Onderzoek debieten beken



Vooronderzoek hydrologie Doorwerthsche Waarden
Kaart debietmetingen

N

0 200 400 600 800 1000 Meters

• Debietmetingen

Het onderzoek aan de beken heeft tot doel inzicht te krijgen in de hoeveelheden water (debieten) die door de verschillende bronnen en beken worden geleverd en de mate waarin dit toe te leveren is aan deelsystemen in de uiterwaarden.

Het onderzoek is uitgevoerd door op een aantal punten de afvoer (debiet) te meten in de beken. Het gaat om drie "stroomgebiedjes":

- de Seelbeek (1 waarneempunt: stuw vlak voor de uitstroom in de Rijn)
- een kwelplek juist ten oosten van de stuw met twee (onafhankelijke) waarneempunten:
  - een betonduiker die bronwater vanuit het bronbosje beneden de Fonteinallee afvoert naar de Rijn
  - een ijzeren duiker door de Fonteinallee die water uit de kwelvijver boven de Fonteinallee afvoert naar een beekje naar de Rijn
- de Dunobeek met 4 waarnemingspunten
  - een duiker die water uit de meest oostelijk gelegen bronnen toevoert naar de grote vijver onder aan het cascadedal
  - de onderste duiker van het cascadedal (onafhankelijk stroompje)
  - een duiker halverwege de Dunobeek, gelegen langs de Fonteinallee
  - de doorvoerduiker van het water door de Fonteinallee naar de Leigraaf, tevens de uitstroom van de Dunobeek

Op de meeste plaatsen is daarbij gebruik gemaakt van de methode "bak", in een enkel geval van de methode "drijver".
In de methode "bak" wordt het water opgevangen in een bak. Tijd en volume worden gemeten en zo is het debiet (volume gedeeld door tijd) vast te stellen. Meestal zijn meerdere waarden verzameld. Onnauwkeurige waarnemingen zijn daarbij niet in de berekening meegenomen.

De methode "drijver" berekent het debiet uit de stroomsnelheid: een drijvertje wordt door een duiker gelaten. Aangezien de stroomsnelheid niet constant is in de gehele natte doorsnee (wrijvingsweerstand aan de wanden van de duiker) wordt een correctiefactor op basis van ervaringscijfers gehanteerd. De foutmarge is daarbij relatief groot ten opzichte van de methode "bak". Het debiet wordt berekend uit:

$$Q = c * v_{drijver} * A * 1000$$

waarin:	Q	debiet in L/s
	c	correctiefactor voor omrekening naar de gemiddelde stroomsnelheid ($v_{gemiddeld} = c * v_{drijver}$), standaard gesteld op 0,7
	$v_{drijver}$	doorstroomsnelheid van de drijver (duikerlengte (m) gedeeld door doorstroomtijd (s)
	A	natte profiel (gemiddeld tussen beide zijden duiker) in m^2
	1000	omrekeningsfactor van m^3 naar L (liters)

3.2 Onderzoek grondwaterrelatie tussen Rijn en uiterwaarden

Doel is inzicht te krijgen in de (kwantitatieve) grondwaterstromingen in de Doorwerthsche Waarden, zowel in de lengterichting van de rivier (met name een (potentiële) kwelstroom bij de stuw) als dwars op de stuw (met name de snelheid van wegzijging tussen de kasteelgracht en de Rijn).
Daarvoor zijn twee raaien van peilpunten geplaatst in de Doorwerthsche Waarden.

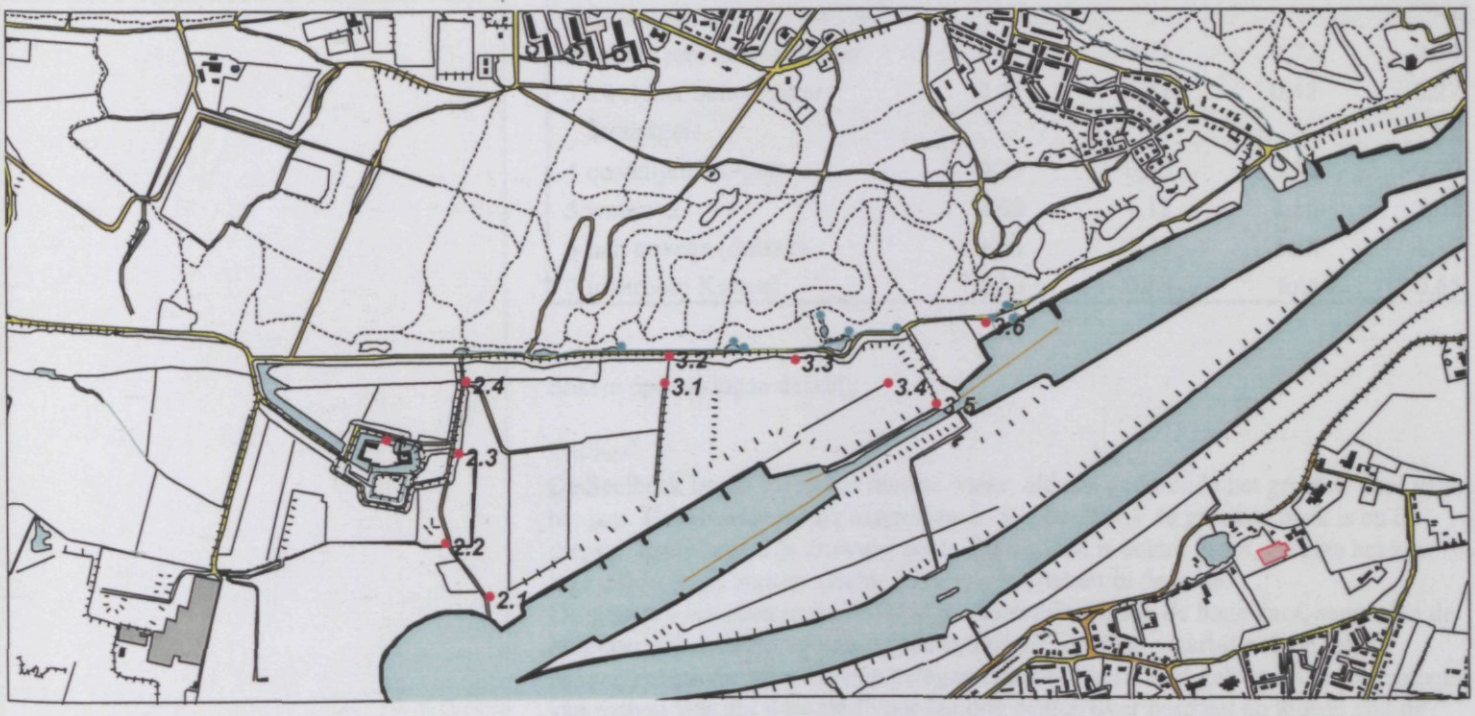
Er is gekozen voor twee raaien:

- noord-zuid: parallel aan de Veerweg. Vooral bedoeld om het verloop van de grondwaterstanden tussen de Rijn (beneden de stuw) en de stuwwal te kunnen

volgen

- oost-west: parallel aan en iets zuidelijk van de Fonteinallee, vooral bedoeld om te bezien of er mogelijkheden zijn om water van boven de stuw via een kwelmoeras aan te takken naar het kasteel.

Daarnaast is een peilschaal geplaatst in de kasteelgracht van Kasteel Doorwerth (aan de noordzijde, onder de brug) om te kunnen volgen hoe de waterstand zich gedraagt bij variaties in de Rijn. Daarmee is het doorlaatvermogen (kD-waarde) tussen Rijn en Kasteelgracht te berekenen en kan worden voorspeld of watertoevoer (en hoeveel) een optie is om de gracht in droge perioden op peil te houden.
Ook kan zo een inschatting gemaakt worden van de mate waarin kwelmoerassen of vloeiweiden vochtig gehouden kunnen worden om zo bijvoorbeeld natte graslanden te kunnen herstellen.
Over de plaatsing en de metagegevens van de peilbuizen is gerapporteerd in Bijlage 1 Peilpunten.



Vooronderzoek hydrologie Doorwerthsche Waarden
Kaart peilpunten

- Peilpunten
- Beek
- Bronnen

N

0 100 200 300 400 500 Meters

Op de bovenstaande kaart zijn de rode stippen de locaties van de peilpunten. Punt 1 is de peilschaal in de kasteelgracht; op de meeste overige locaties zijn (enkelvoudige) peilbuizen geplaatst. Punt 3.4 is een bestaande bronbuis voor een weilandpompje, punt 3.6 is een set van 3 bestaande peilbuizen met filters op diverse dieptes (meetpunt 14 uit het onderzoek van Supèr en Gommer (1993)).

3.3 Inventarisatie bronnen, kwel en waterhuishoudingssysteem

Naast de genoemde metingen is een kwalitatief onderzoek gedaan aan het voorkomen van zichtbare bronnen en kwelverschijnselen in het studiegebied. Daarbij is met name gelet op watervoerendheid van watergangen, van de routes die water aflegt in diverse omstandigheden en van verschijnselen als kwel: het uitvlokken van ijzer in het water, oliebacteriën etc. Ook is gelet op andere kwalitatieve beïnvloeding van de waterkwaliteit, bijvoorbeeld door lozingen. De gegevens daaruit zijn verwerkt in de beschrijvingen van het watersysteem in hoofdstuk 2.

4 Meetresultaten

4.1 Debieten

De volgende metingen zijn gedaan:

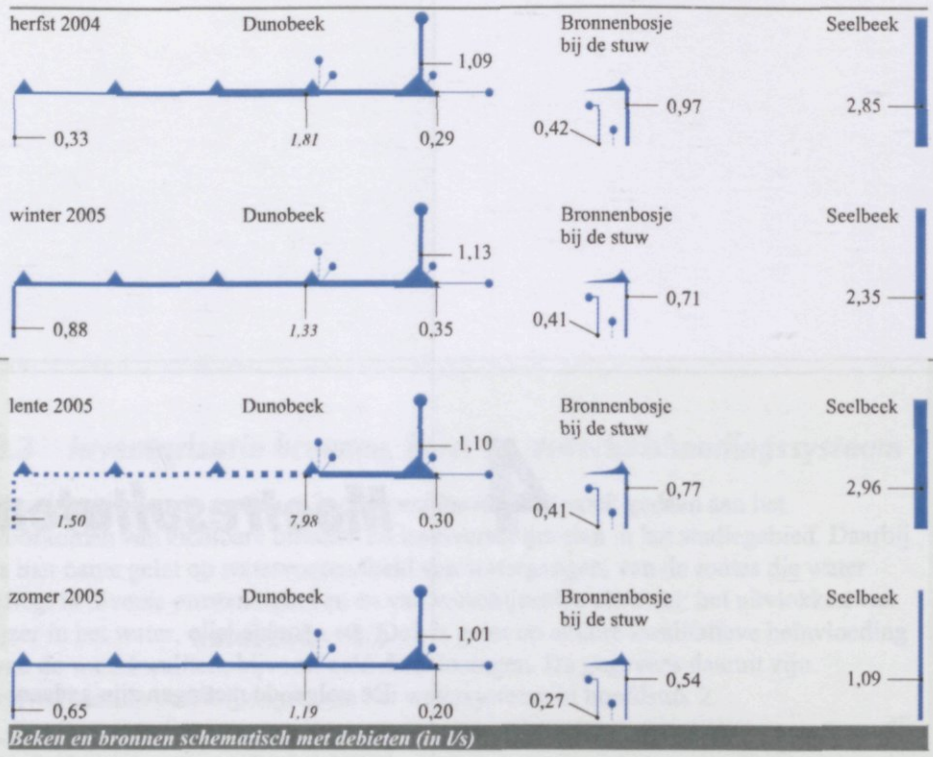
Debietmetingen Doorwerthsche Waarden (L/s)	herfst '04	winter '05	lente '05	zomer '05
Seelbeek				
1 Seelbeek uitstroom	2,85	2,35	2,96	1,09
Bronnenbosje bij de stuw				
2 beekje met ijzeren duiker	0,97	0,71	0,77	0,54
3 kwelplek betonduiker	0,42	0,41	0,42	0,27
Dunobeek				
4 oostelijke bronnen	0,29	0,35	0,30	0,20
5 waterval	1,09	1,13	1,10	1,01
6 halverwege (duiker)	1,81	1,33	fout	1,19
7 uitstroom Kasteel	0,33	0,88	fout	0,65

Enkele opmerkingen daarbij:

Seelbeek

De Seelbeek levert veruit het meeste water, althans gedurende het grootste deel van het jaar. Dat is aannemelijk aangezien de Seelbeek ook de grootste beek is en de diepste insnijding in de stuwwal heeft. De variatie is echter groot, getuige het zeer lage debiet in de zomer: slechts 37% van het debiet in de lente.
De gemeten waarden in de herfst zijn waarschijnlijk aan de hoge kant, aangezien de metingen zijn gedaan op een dag na een zware stortbui, waarbij ook de juist bovenstrooms van de metingen gelegen riooloverstort heeft geloosd. Op het moment van meting was het waterpeil voor het oog echter weer normaal en loosde ook de riooloverstort geen water meer. Eerdere (onnauwkeurige) metingen kwamen op een debiet van rond de 2 à 2,5 l/s, overeenkomend met de meting in de winter.
De meting in de lente is echter opnieuw hoger.
Conclusie is dat de nalevering van neerslag uit de omgeving van deze beek een grote rol speelt.

In 1992 en 1993 zijn door KIWA ook debietmetingen uitgevoerd op dezelfde plaats in de Seelbeek; eenmaal in het najaar en eenmaal in het voorjaar (Supèr en Gommers, 1993). Deze kwamen beide uit op 13 m^3/uur ofwel 3,6 l/s. Conclusie kan dus zijn dat er in de afgelopen 12 jaar een vrij forse vermindering (ca. 20 - 60 %) van het debiet is opgetreden. Deze conclusie wordt ondersteund door de analyse van de waterstanden in de stuwwal.



Beken en bronnen schematisch met debieten (in l/s)

Kwelplek in het bronnenbosje ten oosten van de stuw

Het gaat hierbij om twee afzonderlijke waterstroompjes naar de Rijn. Er is nog een derde, min of meer diffuse afstromingsplek naar de Rijn, maar deze is praktisch niet te meten. Deze ligt tussen de beide andere in.
De twee gemeten stroompjes waren in de herfst samen goed voor ca. 1,4 L/s, in de winter 2005 was met name het debiet van het kleine beekje met de ijzeren duiker door de Fonteinallee lager: 0,71 tegen eerder 0,97 L/s. In de lente was dit 0,77 L/s. Ook hier werd aan het eind van de zomer een aanzienlijk lagere waarde gemeten, slechts iets meer dan de helft van de waarde in de herfst: 0,81 L/s voor de twee bronnen samen. Het peil in de bronvijver is niet constant, hoewel de gemeten duiker de enige zichtbare afvoer is. Het is merkwaardig dat het hoogste en het laagste debiet gemeten zijn in de droogste tijd van het jaar. De nalevering uit de schijngrondwaterspiegels waarvan hier sprake is, kan echter tamelijk onafhankelijk zijn van neerslagoverschotten in een bepaalde tijd. Zie daartoe ook het verloop van de waterstanden in de buizenset 3.6 in de paragraaf hierna.

Dunobeek

De Dunobeek ontvangt water uit diverse bronnen op diverse plaatsen langs de stuwwal, de meeste dicht boven de Fonteinallee. In de meeste gevallen gaat het om kleine waterstroompjes, die soms amper zichtbaar zijn en zonder ingrijpende voorzieningen niet gemeten kunnen worden. Op plaatsen waar kunstwerken zoals duikers aanwezig zijn, is dit wat gemakkelijker.
Op die manier zijn twee stroompjes te meten die uitkomen in de Dunovijver of Helkolk, onder aan het Cascadedal.
Verderop - ongeveer halverwege het traject langs de Fonteinallee - is nog een duiker aanwezig. Hier is opnieuw een meting gedaan, maar vanwege het geringe verval is hier gebruik gemaakt van de tamelijk onbetrouwbare methode "drijver". Tenslotte stroomt de Dunobeek via een duiker onder de Fonteinallee uit in de Leigraaf bij het Kasteel. Ook hier is het debiet gemeten.

Het schemaatje hierboven geeft aan welke waterstromen waar gemeten zijn en hoe de debieten veranderen in de seizoenen.
Dit leverde in de herfst het beeld op van een behoorlijke watertoevoer naar de beek in de oostelijke helft van het systeem en een forse wegzijging in de westelijke. Immers: de twee belangrijkste bronstromen plus de drie niet gemeten kleine bronnetjes leveren ca. 1,8 liter per seconde in het midden van de beek. Toch komt maar 0,33 l/s uit in de Leigraaf. Dat betekent dat meer dan 80% van het water in het westelijk deel van de Dunobeek verloren ging door wegzijging.

Dit beeld werd anders bij de wintermetingen. De beek was toen recent geschoond, waarbij blad en takken zijn verwijderd en de duikers weer geheel zijn vrijgemaakt. Dit komt de doorstroming duidelijk ten goede: de uitstroom bij het kasteel is bijna verdrievoudigd. Daarnaast moet de hoge waarde in de herfst in de duiker in het midden van de beekloop worden genuanceerd. Vermoedelijk heeft hier in een deel van de duiker een kunstmatig hoge waterstand gestaan, waardoor de waarde hoger uitgekomen is dan reëel is.
In de winter werd hier dan ook een debiet van slechts 1,33 l/s gemeten.

Bij de metingen in de lente bleek er een zekere verstopping in de duiker halverwege te zitten, die de drijver tegenhield. Deze heeft echter waarschijnlijk ook een flinke stuwende werking gehad, want toen de takken waren verwijderd, werd een zeer fors debiet gemeten. Dit werkt ook door in de meting van de uitstroom bij het kasteel. Beide gemeten waarden zijn dus veel te hoog. Daarom zijn ze in het schema klein en cursief afgedrukt. In de tabel zijn ze als *fout* weergegeven.

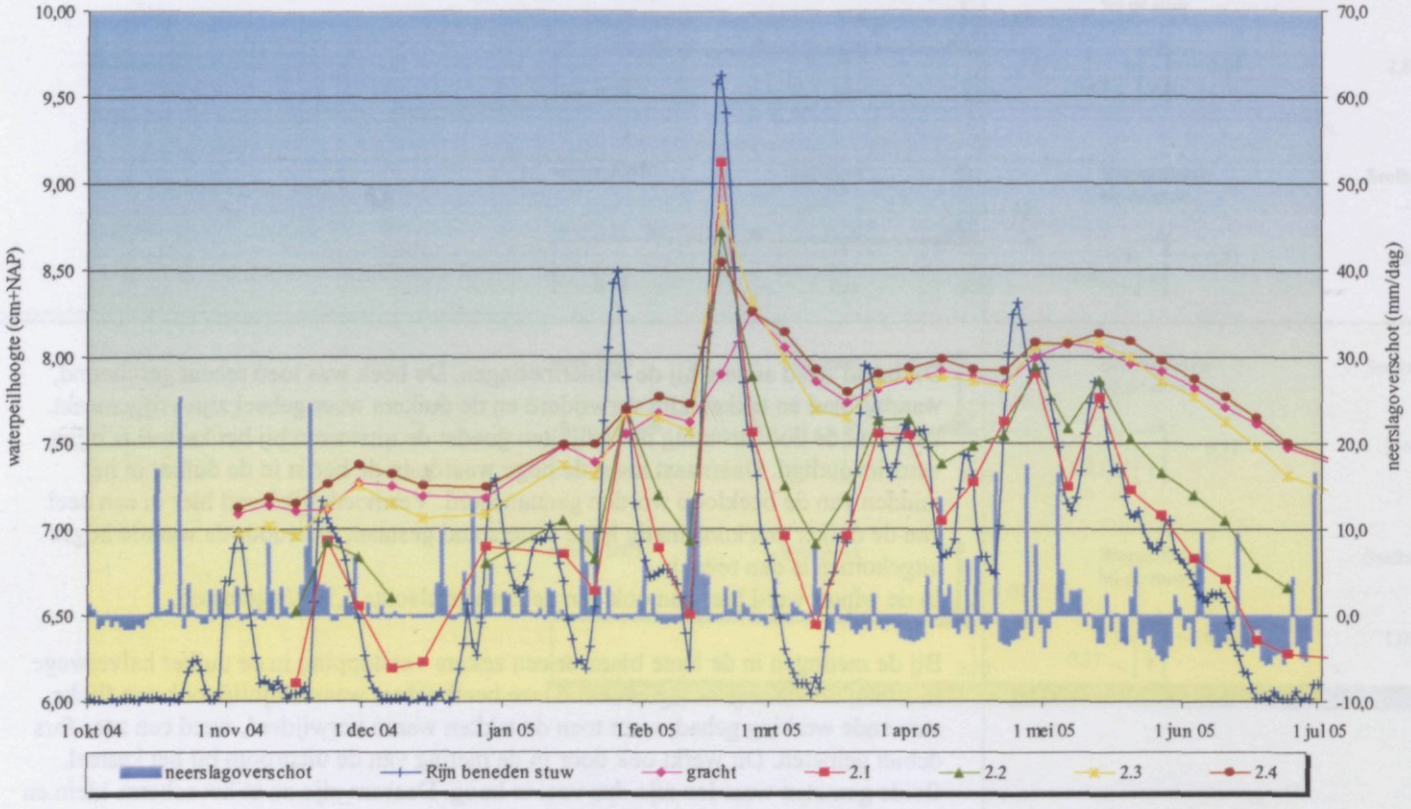
Net als bij de andere bronnen geeft de meting in augustus 2005 (zomer) een daling van het debiet te zien in de Dunobeek. Dit is echter niet zo sterk als in de meeste andere bronnen. De afname is hier slechts 20 % ten opzichte van de maximaal gemeten waarde in de winter: 1,48 L/s tegen 1,21 L/s in de zomer. De uitstroom bij het kasteel is echter ook weer flink gedaald naar 0,65 L/s. Dit is in lijn met de verwachting dat de doorstroming in de beek fors verminderd wordt door de aanwezigheid van blad en ander herfst-afval.

Aangezien met name in het westelijk deel van de Dunobeek sinds de bouw van de stuw een verlaging van het grondwater zal zijn opgetreden, is het waarschijnlijk dat er nu meer inzijging plaatsvindt, waardoor de beek water verliest.
Ook vroeger zullen er ongetwijfeld inzijgende gedeelten geweest zijn. Deze zullen echter beleemd zijn geweest om de wegzijging zoveel mogelijk te voorkomen. Delen waar beleming vroeger niet nodig was, zijn nu echter inzijgend geworden, zodat het logisch is dat een deel van het bronwater wegzijgt.
Hoewel de beekbedding nooit droogvalt, kan ook het gebrek aan onderhoud van de leemlaag een rol spelen, waardoor lekkages zijn opgetreden.

Het totale debiet van beken onder langs de Doorwertsche Waarden bedraagt ca. 5 l/s, in de zomer afnemend tot ca. 3 L/s.
Het overgrote deel daarvan (ca. 60 tot 80 %) vloeit rechtstreeks naar de Rijn.
De rest (30 à 40 %) wordt min of meer geconserveerd in vijvers die zijn verbonden door een opgelegde beek langs de Fonteinallee (Dunobeek). Hiervan gaat echter een groot deel "verloren" door wegzijging, zodat uiteindelijk maar 5 tot 20% van het debiet uit het onderzochte deel van de stuwwal binnen de bedijking van het kasteel terechtkomt. Goed schoonhouden van de beek blijkt een duidelijke waterwinst op te leveren.

Waarschijnlijk worden de debieten daarnaast sterk beïnvloed door overstromingen van de uiterwaard, die via de grondwaterstanden in de stuwwal doorwerken. Zie daartoe bijvoorbeeld de analyse van de grondwaterstanden in de stuwwal in paragraaf 2.3.4., blz. 25 - 32.

Peilhoogten en neerslagoverschot dwars op de stuwwal



4.2 Peilgegevens

Peilverloop dwars op de Rijn (langs de Veerweg)

In de bovenstaande grafiek zijn diverse waterhoogten van zowel oppervlaktewater als peilbuizen (tijdstijghoogtelijnen) uitgezet van de kasteelgracht (brug), de buizen van reeks 2 en van de Rijn stroomafwaarts van de stuw. (Neerslagoverschotten voor 2005 waren nog niet beschikbaar).

De buizen 2.1 (rood) en 2.2 (groen) volgen de stand van de Rijn vrij snel.

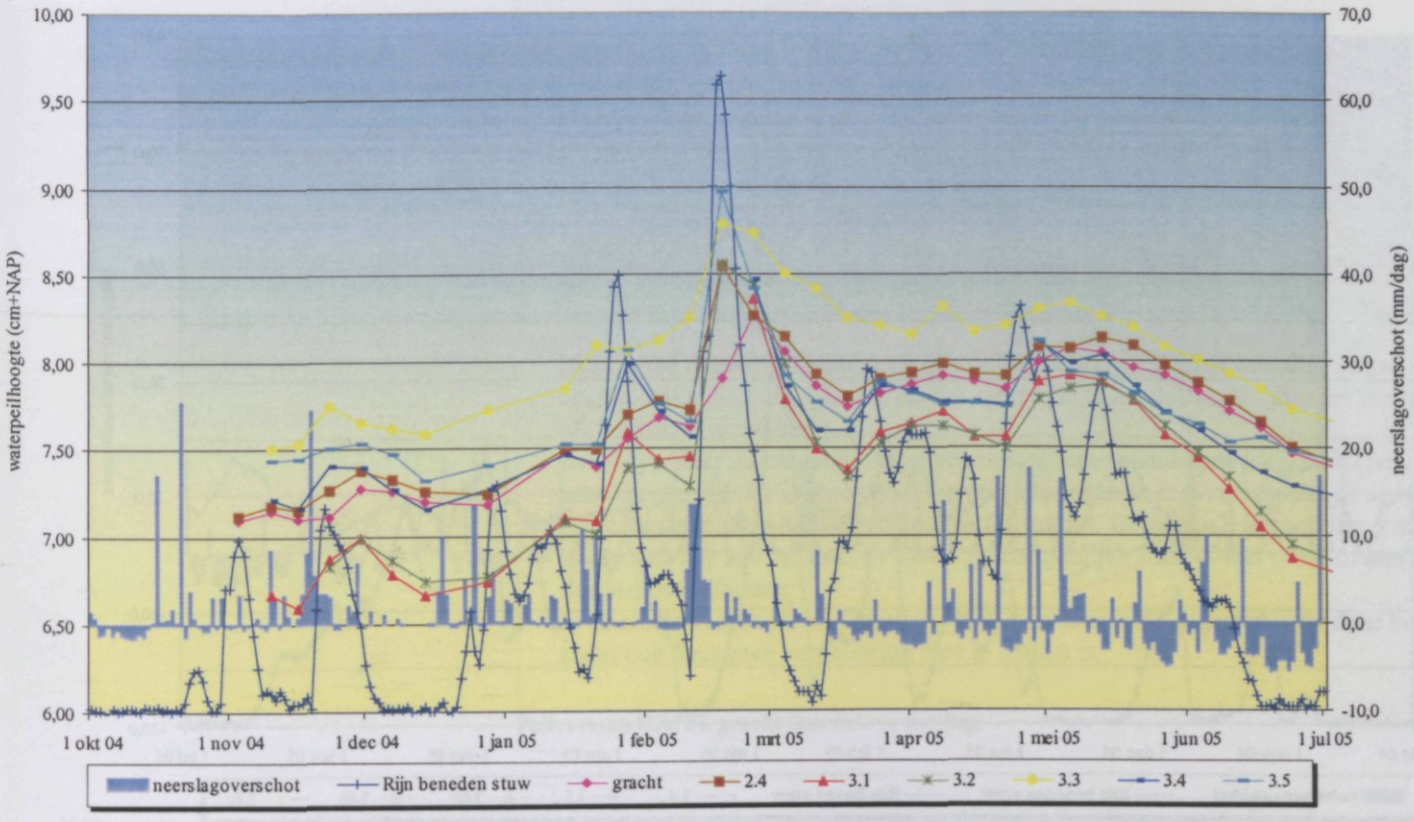
De buizen die dichter bij de stuwwal staan volgen de stand van de Rijn ook, maar sterk gedempt en met enig faseverschil. De buis die het dichtst bij de stuwwal staat (2.4 roodbruin) ligt bij normale waterstanden in de Rijn het hoogst. Het peil hier wordt dus mede bepaald door de peilen in de stuwwal.

De gracht ligt tussen de buizen 2.3 en 2.4 in en dicht bij 2.4. Dat is opvallend, aangezien de afstand tot de Rijn ongeveer evengroot is als bij buis 2.3.

Opvallend is ook dat de schommeling in fase achterloopt op de beide buizen. Dit kan samenhangen met de veel grotere berging in de gracht ten opzichte van de bodem: er moet eerst daadwerkelijk vrij veel water toestromen vanuit de Rijn voordat het water in de gracht echt stijgt.

Er kunnen ook andere verklaringen zijn: de weerstand tussen de gracht en de Rijn zou hoger kunnen zijn dan tussen de buisfilters en de Rijn. Dit kan verklaard worden uit de laag slib die zich gevormd heeft op de bodem van de gracht en die een veel grotere weerstand kan hebben dan het grove zand waarin de filters van de buizen zijn geplaatst.

Peilhoogten en neerslagoverschot evenwijdig aan de stuwwal

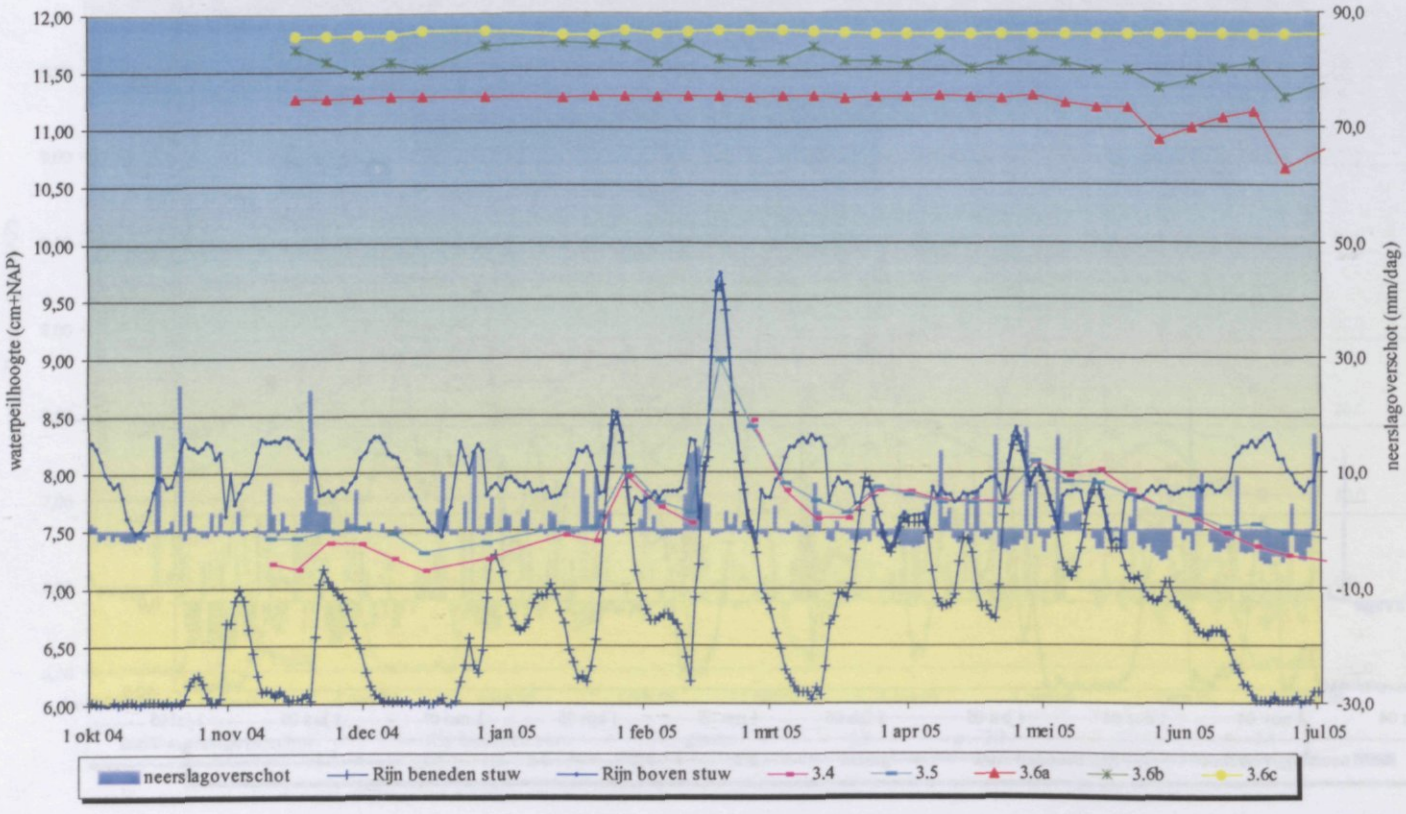


Peilverloop evenwijdig aan de stuwwal

In de bovenstaande grafiek zijn de buizen van de raai evenwijdig aan de stuwwal uitgezet. We zien hier meerdere effecten door elkaar heen lopen: de invloed van de stuwwal en de invloed van de rivier, die op zich weer twee componenten heeft: de sprong bij de stuw en de fluctuatie beneden de stuw.
Het hoogst liggen de buizen dicht bij de stuwwal, waarbij opvalt dat buis 3.2 daarbij enigszins uit de toon valt. Deze staat eigenlijk zelfs min of meer in de voet van de stuwwal (in de greppel onder langs de bosrand), maar het is veelal de laagste in deze reeks. Hij is soms zelfs lager dan de verderop in het weiland gelegen buis 3.1. Kennelijk is hier zeer weinig kweldruk aanwezig uit de stuwwal en wordt de hoogte van de grondwaterstand hier vooral bepaald door de rivier.

Zo'n 200 m oostelijk van deze plaats ligt buis 3.3 (gele lijn), ook dicht onder de stuwwal. Hier blijkt juist een hoge grondwaterstand aanwezig te zijn, al reageert de buis ook - en zelfs vrij snel - op de rivier. De kweldruk komt aan de andere kant van de Fonteinallee duidelijk tot uiting in de bronnen van de Dunobeek.
Verderop in het midden van het weiland ligt buis 3.4 (blauw). Ook deze volgt de stand van de rivier (beneden de stuw), maar wordt wat minder door de kweldruk uit de stuwwal beïnvloed en ligt dus lager. Gehoopt werd dat dit gebiedje ook beïnvloed zou worden door het peil van de Rijn boven de stuw, maar dit is nauwelijks het geval. Een eventueel hier te scheppen kwelmoeras zal dus niet veel hoger dan 7,00 m+NAP moeten liggen. Dat is te laag om een stroompje te genereren naar de gracht.
Buis 3.5 (lichtblauw) ligt vrijwel naast de sluis. Dit uit zich in een zeer gemiddelde ligging tussen de waterstand boven en beneden de stuw. Dit komt beter tot uiting in de volgende serie.
De nog niet besproken lijnen zijn 2.4 (bruin) en de gracht (roze), die een intermediaire positie innemen wat betreft de kweldruk uit de stuwwal. De gracht loopt daarbij wat achter, vermoedelijk vanwege de grote bergingscapaciteit in de gracht zelf.

Peilhoogten en neerslagoverschot vlakbij de stuw



Grondwaterpeilen in de omgeving van de stuw

In de grafiek hierboven zijn enkele peilen uitgezet in de omgeving van de stuw. Het gaat om de buizen 3.4 (roze), 3.5 (lichtblauw) gelegen direct naast de sluis en een drietal buizen in het elzenbronbosje ca. 125 m ten oosten van de weg naar de stuw (geel, groen, rood).

Verder zijn zowel de rivierstand beneden als boven de stuw uitgezet. Hierin is het stuwregiem zichtbaar. Bij lage afvoeren in de Rijn is de stuw vrijwel gesloten. Er ontstaat een groot hoogteverschil tussen het peil boven en beneden de stuw van ca. 2,30 m (6,0 m+NAP beneden de stuw, ca. 8,3 m+NAP boven de stuw). Komt er meer wateraanbod, dan wordt de schuif geleidelijk wat opgetild: boven de stuw zakt daardoor het peil en beneden de stuw stijgt het.

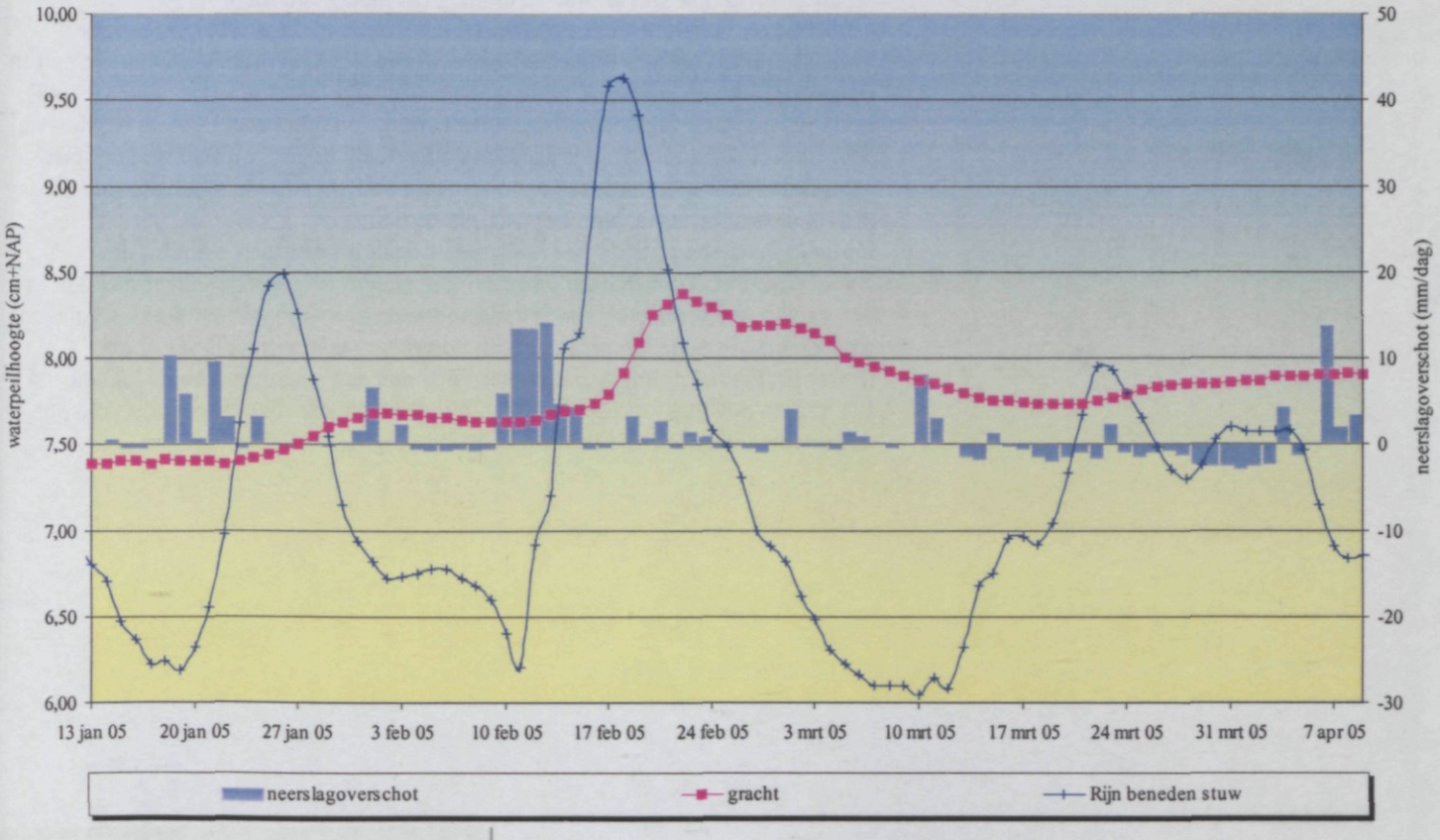
Is er zoveel wateraanbod dat het peil stijgt tot boven de 7,60 à 7,80 m+NAP, dan gaat de stuw geheel open en wordt het peil boven en beneden de stuw vrijwel hetzelfde. Dit komt goed tot uiting in de grafiek. Het is deze winter twee keer gebeurd: de eerste keer in januari met een kleine hoogwatergolf met een rivierstand tot ca. 8,54 m+NAP. De tweede in februari met een maximumpeil van 9,63 m+NAP. Tijdens de laatste golf gingen de lage gedeelten van de uiterwaard ten oosten van het kasteel onder water, doordat de klepduiker in de kwelsloot bij de sluis open stond. Ook in de maanden maart tot mei is de stuw diverse malen geopend geweest, maar het water is daarbij niet hoger gekomen dan ca. 8,40 m+NAP.

Buis 3.5 (direct naast de schutsluis) ligt keurig tussen de twee rivierstanden in, waarbij een zekere vertraging optreedt, omdat het water moet doordringen in de bodem.

Ook twee van de drie buizen in het bronbosje (3.6a en 3.6c) zijn extreem vlak: de metingen van deze buizen hebben heel weinig spreiding. Buis 3.6a (rood) toont de grondwaterbeweging rond het maaiveld, buis 3.6c (rood) zit relatief diep: 2,5 à 3 m onder het maaiveld. Verder liggen ze zeer hoog ten opzichte van de rivier. Merkwaardig is dat het filter daar tussenin (groen) juist wel beweging laat zien. Dit zit ca. 1 m beneden maaiveld. Dat het hoogste filter weinig variatie toont, komt omdat het oppervlaktewater opkwelt, maar nooit hoger komt, omdat het oppervlakkig afstroomt. Het is dus zeer constant. Hoewel het bodemoppervlak in

mei en juni consequent nat bleef, is er in die periode een merkwaardige daling opgetreden in de buis, die zich daarna weer lijkt te herstellen. De diepere kweldruk blijft onverminderd hoog.
Het diepe filter zit mogelijk onder een min of meer afsluitende laag, zodat het tamelijk ongevoelig is voor tijdelijke veranderingen in de weerssituatie of de rivier.
Het tussengelegen filter vertoont enige fluctuaties. De oorzaak is vooralsnog niet zo gemakkelijk te achterhalen. Er lijken geen duidelijke relaties met rivier of met neerslagoverschotten.
In de studie van Supèr en Gommer (1993) ontbreken de gegevens over deze buizen, zodat ook daar geen vergelijking mee te maken is.

Peilverloop Rijn en gracht (intensieve meting)



Intensieve metingen kasteelgracht in relatie tot de Rijn

Om nauwkeuriger zicht te krijgen op de relatie tussen het peil in de Rijn (beneden de stuw) en dat van de kasteelgracht is in de winterperiode gedurende een periode van 2 maanden intensief (d.w.z. dagelijks) het peil van de gracht gemeten. Dat van de Rijn wordt door Rijkswaterstaat opgenomen en is dagelijks af te lezen via www.actuelewaterdata.nl en www.infocentrum-binnenwateren.nl/hoogwater (alleen Driel boven de stuw). Deze gegevens zijn opgenomen in onderstaande grafiek.

Daaruit is het volgende af te leiden:

- de stand van de gracht is bij lage standen van de rivier ca. 7,10 m+NAP, ongeveer 1,10 m boven de stand van de Rijn;

- als gevolg van waarschijnlijk een verzadiging van de bodem met neerslag en toestroming naar de gracht is het evenwichtsniveau in de winterperiode veel hoger: in januari omstreeks 7,40, in februari zelfs boven 7,60 m+NAP. Waarschijnlijk speelt ook een verhoging van de ondiepe grondwaterstand in de stuwwal daarbij een rol;
- ongeveer 3 dagen na een duidelijke verandering van het peil van de Rijn begint de gracht te reageren;
- zolang het water in het zomerbed blijft is er een behoorlijk gedempte reactie: bij een potentiaalverschil van ca. 1 m reageert de gracht met een verhoging van ca. 2 cm/dag. Dit is op een oppervlakte van de gracht van ca. 6000 m^2 een toestroming van ca. 120 m^3/dag = ca. 1,4 liter per seconde.
- bij overstroming van de uiterwaard (vanaf 17 februari) is er niet alleen sprake van een fors potentiaalverschil, maar wordt de afstand tussen rivier en gracht zeer veel minder. Dit verhoogt de potentiaalgradiënt zeer aanzienlijk. Dan kan een stijging van de gracht van wel 12 cm/dag (of meer) optreden.
- als het water van de Rijn daalt beneden het niveau in de gracht (in absolute termen), treedt onmiddellijk (dus zonder vertraging) een daling op van het peil in de gracht. Dit kan verklaard worden uit het feit dat de stijging tot ca. 8 m+NAP in de Rijn vooral samenhangt met "filevorming" van het water dat uit de stuwwal naar de Rijn stroomt. Als het water in de Rijn nog hoger komt, ontstaat er een grondwaterstroom de andere kant op: vanuit de Rijn naar de gracht. Zodra de drijvende kracht daarachter wegvalt, zet de daling in.
- als de Rijn na een periode van hoog water daalt tot waarden dicht bij de zomerstand (bijvoorbeeld 26 februari - 13 maart), reageert de gracht met daling van ca. 2,5 cm per dag bij een beginstand van ca. 8 m+NAP. Dit kan vergeleken worden met de zomersituatie, waarbij de gracht op streefpeil is (ca. 7,80 m+NAP). Om de daling te compenseren is dan een aanvulling nodig van ca. 1,75 L/s. Indien ook een ernstige verdamping optreedt, kan dit oplopen tot 3 cm per dag en dus tot ca. 2,1 L/s benodigde aanvulling.

5 Oplossingsrichtingen

Dit onderzoek dient om mogelijkheden te verkennen om weer grondwater-afhankelijke vegetaties te ontwikkelen langs de stuwwalrand en in de uiterwaarden, niet alleen bovenstrooms van de stuw, maar ook benedenstrooms. Daarnaast is er een oude wens om de gracht van het kasteel weer het hele jaar watervoerend te maken. Op dit moment staan grote delen van de gracht gedurende een groot deel van het jaar min of meer droog.

5.1 Grondwaterafhankelijke vegetaties

Natte en grondwaterafhankelijke vegetaties zijn zeldzaam geworden in de Doorwerthsche Waarden. Er zijn natuurlijk wel natte terreinen, zoals de kleiputten en natte vegetaties in sloten en plassen, maar deze staan vooral onder invloed van oppervlaktewater en worden sterk beïnvloed door de Rijn, die een eutrofiërend effect heeft.
Verder is er in de strang onder aan de stuwwal in het gedeelte net ten oosten van de A50 (eigendom Staatsbosbeheer) mogelijk wat kwelinvloed. Er is daar een enigszins vochtige vegetatie met o.m. Echte koekoeksbloem. Supèr en Gommer (1993) maken melding van kwel voor het gebied waar momenteel riet groeit daar vlakbij (Ottergat).

Verder zijn momenteel alleen in het bronbosje oostelijk van de stuw en in beperkte mate in het dal van de Seelbeek grondwaterafhankelijke vegetaties aanwezig. De meeste brongebiedjes van de Dunobeek zijn zeer beperkt in omvang (enkele vierkante meters) en maken merendeels een verdroogde indruk.
Het kwelgebiedje bij de stuw maakt een enigszins verruigde indruk, mogelijk als gevolg van invloed van het rivierwater, dat bij extreem hoge standen het gebiedje kan bereiken.

Binnen de Doorwerthsche Waarden komen momenteel verder geen terreinen voor waar sprake is van kwel.

Het grasland tussen het kasteel en de stuwwal

Voedselarme terreinen met grondwaterinvloed zijn het best te scheppen buiten de invloedssfeer van de rivier. Het terrein binnen de bedijking van het kasteel zou daarvoor goede uitgangspunten kunnen bieden. Met name de gronden dicht bij de stuwwal zijn vanouds beïnvloed door kwel. De strang die daar liep is echter door natuurlijke of menselijke invloed geheel verland en nu in agrarisch gebruik.
Er zijn plannen om de strang weer uit te graven als landschappelijk element en nat natuurelement terug te brengen.
Het aangrenzende grasland zou theoretisch ontwikkeld kunnen worden tot nat, voedselarm doch basenrijk grasland. Dat kan door het maaiveld te verlagen tot het niveau waarop kwel optreedt uit de stuwwal: zo rond 7,30 m+NAP. In dat geval zal het terrein echter vrijwel permanent plas-dras staan.

Het zou ook kunnen door beekwater toe te laten vloeien over het terrein. De uitloop van de Dunobeek moet dan worden verlegd tot in het grasland en een vloeiweidesysteem met aan- en afvoergreppeltjes moet worden aangelegd. Met name

in najaar en winter kan dan worden bevloeid.
Wellicht is dit zelfs te combineren met toevoer van het water naar de kasteelgracht. Enerzijds kan dit door het restant van het water na gebruik op de vloeiweide toe te voeren aan de gracht, anderzijds is er ook een verschil in behoefte in de tijd. In najaar en winter kan het water worden benut voor de vloeiweide, in voorjaar en zomer voor de gracht. De meest kritische maanden zijn daarbij de nazomer- en herfstmaanden. Mogelijk is er dan voor beide doeleinden water gewenst.

In alle gevallen is echter een grotere hoeveelheid water wenselijk dan nu beschikbaar is. Daartoe dient water te worden aangevoerd. Dit kan op verschillende manieren en uit verschillende "bronnen".

5.2 Verhoging waterpeil gracht

Sinds de bouw van de stuw in de Rijn bij Driel is het peil van de gracht gedaald. Met name 's zomers valt de gracht vrijwel droog. Het huidige zomerpeil zakt weg tot ca. 7,10 m+NAP en wellicht in 2003 nog verder tot ca. 7,0 m+NAP. Vermoedelijk zal dit ook vroeger wel zijn opgetreden, al zijn toen mogelijk de standen ook beter op peil gehouden door meer toestroom uit de stuwwal.

Hier is uitgegaan van een streefpeil voor de gracht van 7,80 m +NAP. Dit zal gemiddeld ongeveer overeenkomen met de oude situatie, al zijn toen ook wel lagere standen voorgekomen als gevolg van lage Rijnstanden.
Bij 7,80 m+NAP staat er flink water in de gracht, maar de gracht om de moestuin blijft waarschijnlijk toch nog droog. De binnengracht tussen de voorhof en de eigenlijke burcht wordt plasdras. De grondlichamen die tegen de kasteelmuren aanliggen zullen deels onder water komen, maar niet overal.
Bij nog hogere waterstanden kunnen die worden geloosd op de gracht langs de oprijlaan (de afsluitbare duiker ligt op ca. 8,00 m+NAP) en vandaar uit op de Leijgraaf bij het begin van de oprijlaan (eveneens een afsluitbare duiker, hoogte 8,17 m+NAP).

Onzekerheden

Om te onderzoeken hoe groot de wegzijging naar de Rijn is, is nu vooral gebruik gemaakt van de omgekeerde situatie: toestroom naar de gracht bij hoge(re) rivierstanden. Daaruit blijkt dat bij een rivierstand die 1 m hoger is dan gebruikelijk er na een weekje maximaal ca. 1,4 L/s toestroomt naar de gracht. Dit is grofweg in lijn met de bevindingen in de 1e rapportage.
In de analyse van de intensieve meting van het voorjaar 2005 bleek dat de daling van de waterstand iets sneller kan gaan: ca. 2 L/s.

Bovendien is de situatie met een hoge stand in de gracht alleen niet geheel gelijk aan de bekeken situatie: mogelijk is het verlies bij hoge standen in alleen de gracht wat groter, omdat dan ook zijdelings verliezen optreden. De Rijn geeft namelijk een potentiaalverschil over een breed front, terwijl een verhoging van de waterstand in de gracht als een soort punt-potentiaal gaat functioneren.
Daar komt nog bij dat ook in de huidige situatie de Dunobeek zijn water al naar het kasteelterrein brengt, waarbij de gradiënt tussen gracht en Rijn gevoed zal worden. In de nazomersituatie (oktober 2004) was deze toestroom echter zeer klein (0,3 L/s).

Daarnaast kunnen in langdurige droge perioden tekorten optreden die worden veroorzaakt door verdamping. Deze kunnen in een 10% droog jaar (een droog jaar dat gemiddeld 1 x per 10 jaar optreedt) oplopen tot 0,6 L/s. (In de praktijk zal dit minder zijn door toevloed van neerslag vanaf het kasteelterrein zelf naar de gracht, maar bij droogte treedt dat sowieso weinig op, dus dat is hier buiten beschouwing gelaten.)
Om zowel verdamping als wegzijging teniet te doen zou dus ongeveer een toestroom van 2,0 tot 2,5 L/s nodig zijn. Die hoeveelheid kan een waterstand in de gracht van ca. 7,80 m+NAP handhaven. (in de eerste rapportage was de verdamping in droge jaren buiten beschouwing gelaten).

Conclusie: voor een zomerwaterstand in de gracht van ca. 7,80 m+NAP is een constante toestroom nodig van 2,0 - 2,5 L/s.

Indien daarnaast een vloeiweide op een hoog maaiveldsniveau wordt nagestreefd, waarin de waterstand niet diep mag wegzakken, dient ook hier zomerbevloeiing plaats te vinden. De hoeveelheid water die daarvoor nodig is, is uiteraard afhankelijk van de te bevloeien oppervlakte. Bij een verdamping van 5 mm/dag is per hectare 50 m3 per dag nodig ofwel 0,58 L/s. Het weiland ten noorden van het kasteel en ten oosten van de boomgaard heeft een oppervlakte van 2,24 ha. Indien dit bevloeid zou moeten worden zou dat in tijden van droogte dus 1,3 L/s vragen. Daarnaast treedt nog extra wegzijging op, omdat het weiland hoger ligt dan de gracht (ca. 9,60 m+NAP). Voordeel is dat het bestaat uit zavel, en dus minder doorlatend zal zijn dan de bodem van de gracht, die in het pleistocene (grove) zand ligt.

Een alternatief voor bevloeiing zou echter kunnen zijn om het weiland te verlagen tot bijvoorbeeld ca. 8,40 m+NAP (momenteel heeft het een hoogte van ca. 9,60 m+NAP). Het weiland komt dan onder invloed van het grondwater te staan, dat verhoogd zal worden door de invloed van de hogere gracht.

5.3 Mogelijkheden voor wateraanvoer

Dunobeek

De Dunobeek levert een debiet van 1,2 tot 1,5 L/s. Dat is dus niet genoeg om de beoogde waterstand in de gracht 's zomers vast te houden, vooral niet omdat een deel van dit water wegzijgt tussen de bronnen en de uitstroom, zodat slechts
Met alleen het toeleiden van de Dunobeek naar de kasteelgracht kan een waterstandsstijging van naar schatting 60 à 70 cm worden bereikt. Er dient dan aanvullende beleming plaats te vinden in de Dunobeek en de beek moet goed schoongehouden worden. Daarnaast moet een verbinding gemaakt worden tussen de uitstroom bij de Fonteinallee en de kasteelgracht. Deze kan langs de westzijde van de Veerweg gemaakt worden als een opgelegde beek. Het gaat om een lengte van ca. 285 m.

In droge zomers zal de waterstandsstijging gedeeltelijk (voor bijvoorbeeld de helft) teniet gedaan worden door verdamping en wegzakken tot ca. 7,40 m+NAP, maar bij sterke verlaging van de hoeveelheid aangevoerd water zou dit ook verder kunnen dalen en kunnen delen van de gracht toch weer droogvallen. Vermoedelijk is de meest cruciale factor daarin het uitblijven van inundaties in het winterseizoen.

Bronnen oostelijk van de stuw (bronnenbosje)

De gemeten wateropbrengsten hier zijn ca. 0,8 tot ca. 1,3 L/s. Er zijn twee mogelijkheden om deze hoeveelheden naar de omgeving van het kasteel toe te leiden:

- aan de bovenzijde (noordkant) van de Fonteinallee: aankoppelen aan de Dunobeek
- aan de benedenzijde (zuidkant) van de Fonteinallee: aankoppelen aan de bestaande sloot (Doorwerthsche Leigraaf) op de grens van helling en uiterwaard.

De simpelste vorm is aankoppelen aan de Dunobeek. Er zal dan over een lengte van ca. 150 m een boven- of ondergrondse verbinding moeten worden gemaakt tussen de vijver aan de noordzijde van de Fonteinallee en de meest oostelijke bron van de Dunobeek. Minstens een klein deel ervan zal moeten bestaan uit een duiker, omdat er een groot pad kruist ter hoogte van de weg naar de stuw. Daarnaast is direct ten oosten daarvan de helling erg steil en zal vermoedelijk ook daar een kunstwerkje nodig zijn om een beekje stabiel te houden. Vermoedelijk zal de verbinding aan de bovenzijde van de Fonteinallee niet al het water kunnen benutten; een deel treedt uit aan de zuidkant van de weg, dus in het bronnenbosje zelf. Toch geeft deze oplossing een extra hoeveelheid water in de Dunobeek van ca. 0,5 tot 1,0 L/s en zal daarmee (mits de wegzijging wordt geminimaliseerd) gedurende minstens een deel van de zomer genoeg zijn voor het op peil houden van de gracht op het streefpeil van ca. 7,80 m+NAP.

De debietmetingen in de zomer van 2005 tonen aan dat de waterhoeveelheden in de beken vrij drastisch kunnen teruglopen in de zomer. Mogelijk speelt de droge zomer van 2003 daarin nog een rol, maar waarschijnlijker is dat het uitblijven van inundaties in de winters een rol speelt in het wegzakken van de grondwaterstanden en de debieten. Recente grondwaterstanden zijn echter (nog) niet beschikbaar in de DINO-database, zodat het wegzakken van de grondwaterstanden niet gecheckt kan worden.

De benedenstroomse variant verzamelt al het gemeten water. Ook hier zal een nieuwe beekbedding aangelegd moeten worden met een zware duiker in de weg naar de stuw. Vandaar kan de oude Doorwerthsche Leigraaf benut worden, die dan wel moet worden beleemd (ca. 1040 m) en moet worden aangesloten op de opgelegde beek langs de Veerweg. Door het relatief kleine debiet zullen lekverliezen zwaar aantellen. Deze optie is vooral interessant in combinatie met de volgende.

Seelbeek

Wanneer ook de Seelbeek omgeleid kan worden, komt er in totaal 3 tot 5 L/s theoretisch beschikbaar. Dat is ruim zoveel als nodig is voor de gracht, maar dat water moet wel over een vrij grote afstand getransporteerd worden, waarbij onvermijdelijk lekverliezen optreden.

Omleiding van de Seelbeek langs de lage kant van de Fonteinallee is fysiek goed mogelijk. Er zal dan een aanzienlijke hoeveelheid water beschikbaar komen, zodat het waterpeil in de gracht 0,7 à 1,5 m kan stijgen, afhankelijk van het jaargetijde en de transportverliezen. De binnengracht en de gracht om de moestuin kunnen dan ook watervoerend worden.

Er moet dan een compleet nieuwe beekbedding worden aangelegd van de huidige monding van de Seelbeek tot aan het stuwcomplex (ca. 1000 m). Het bestaande traject tussen het stuwcomplex en het kasteel (ca. 1040 m) zal moeten worden beleemd en aan het eind worden aangepast en omgeleid naar de gracht (ca. 300 m). Bij het kasteelcomplex zelf hoeven geen nieuwe kunstwerken te worden aangelegd. De bestaande zijn nog afgestemd op hoge waterstanden en kunnen dus goed worden

benut bij een hoger peil in de gracht.

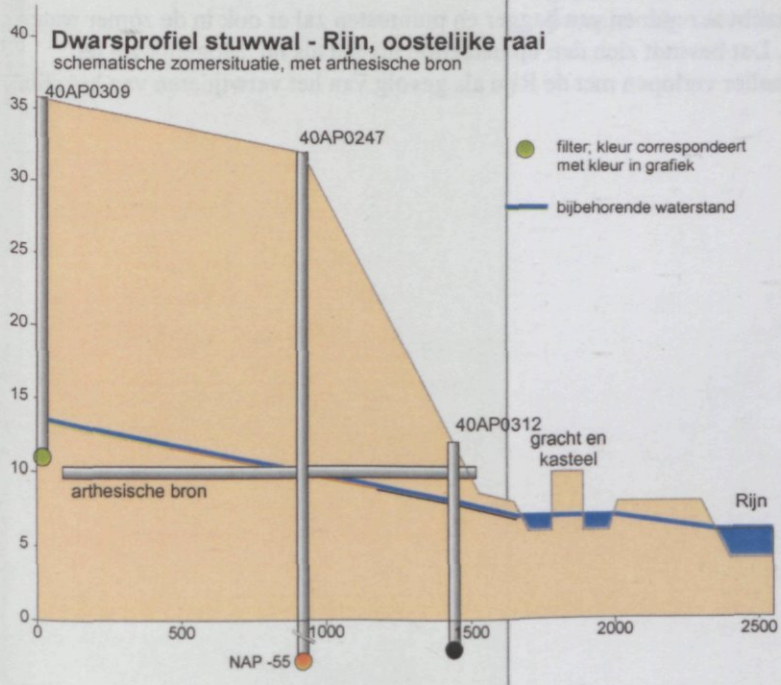
5.4 Alternatieven

benutting van het potentiaalverschil over de stuw voor het genereren van kwel en eventueel een kwelstroom naar het westen

Hiervoor lijken de opties slecht. De potentiaal in het midden van het weiland direct benedenstrooms van de stuw ligt slechts 's zomers op ca. 7,20 m+NAP, nauwelijks hoger dan het niveau van de gracht (zie de grafiek op blz. 14). Een kwelstroom om daarmee terreinen binnen het kasteelterrein te voeden is hiermee dus niet te genereren.
Wel kunnen hier natuurlijk moerasvegetaties in het betreffende weiland gevoed worden, maar die zullen daarnaast onder invloed staan van rivierwater.
Er zijn theorieën dat kwelvegetaties weinig worden beïnvloed door overstroming met voedselrijk water, maar of dat ook geldt in een situatie waarin voedselrijk slib wordt afgezet door de rivier is twijfelachtig.
Het verruigde bronbosje juist ten oosten van de stuw biedt zelfs bij zeer lage overstromingsfrequenties weinig aanleiding tot optimisme.
De vegetaties die hier verwacht moeten worden zullen dan ook eerder in het zilverschoonverbond dan in het dotterverbond gezocht moeten worden. Overigens kunnen ook hier interessante plantensoorten toe behoren. Ook kunnen hier voor vogels interessante moerasjes ontstaan.

rechtstreekse watertoevoer van boven de stuw naar de kasteelgracht

In tijden van droogte staat het water boven de stuw doorgaans ca. 2 m hoger dan beneden de stuw. Er kan dus theoretisch water worden afgetapt boven de stuw dat - bijvoorbeeld via de greppel onder langs de stuwwal - kan worden toegevoerd naar de kasteelgracht.
Voor bevloeiing van natte botanisch waardevolle graslanden is dit water niet geschikt vanwege de grote voedselrijkdom. Daarnaast is het benodigde verval ook tamelijk gering: boven de stuw is het peil bij gesloten stuw ca. 8,30 m+NAP; in de gracht is het beoogde peil ca. 7,80 m+NAP, zodat er een verval is van 50 cm. Het voordeel is echter dat er een zeer groot debiet mogelijk is.



kunstmatige bron met pomp voor het op peil houden van het peil in de gracht

Mogelijk, maar kunstmatig. Afhankelijk van de diepte van het bronfilter kan het gevaar van rondpompen ontstaan: doordat het water onder de gracht wordt weggepompt stijgt de wegzijging. Dit effect zal echter niet groot zijn. Het is veruit de goedkoopste oplossing om water in de gracht te krijgen.

artesische bron in de stuwwal om het water aan te vullen

Dit zou een goede aanvulling kunnen zijn op het toeleiden van water uit (alleen) de Dunobeek. Bij een artesische bron komt het water spontaan aan de oppervlakte (zonder pomp), omdat het bronfilter in een bodemlaag met een hogere potentiaal zit dan het maaiveld. De bron moet daartoe horizontaal of schuin naar het noorden worden geboord in de onderrand van de

stuwwal. Er zijn echter in het deel van de stuwwal ter hoogte van Kasteel Doorwerth waarschijnlijk geen kleischotten, die kunnen zorgen voor hoge (schijn)grondwaterstanden.
Enig aanvullend onderzoek moet gedaan worden om te bezien hoe diep deze bron het best geplaatst kan worden. Zoals blijkt uit de grafiek van de TNO-buis P0247 (zie 2.3.3 Grondwater) heeft het water op ca. 55 m-NAP een stijghoogte tot ca. 10 m+NAP. Dat is net genoeg, maar houdt niet over. Mogelijk is op dezelfde plaats ondieper de stijghoogte groter.
Uit het plaatje hiernaast blijkt dat een horizontaal geplaatste buis minimaal honderden meters de stuwwal in geboord zal moeten worden. De buis in het plaatje is 1400 m (!) lang en steekt maximaal slechts ca. 3 m beneden het grondwaterpeil, dat verlaagd wordt als gevolg van de onttrekking.

beleming van de slotgracht

Beleming werd doorgaans alleen gedaan in situaties waarin permanente wegzijging plaatsvond. In de uiterwaarden is daarentegen periodiek sterke kwel (naar de slotgracht) toe te verwachten, wanneer de rivier hoger staat dan de gracht. Het risico bestaat dat deze kweldruk de leemlaag opdrukt en zo verbrokkelt door de opwaartse kracht van het kwelwater.
Dit kan worden opgeheven door te zorgen dat het gewicht van de leemlaag de kweldruk minimaal nivelleert. Aangezien leem ongeveer twee à tweeënhalf maal zo zwaar is als water, dient de leemlaag een dikte te hebben van minimaal de helft van het potentiaalverschil (verschil in waterstand binnen en buiten de kasteelkade).
Bij een potentiaalverschil van 2 m (stand in de uiterwaarden bijvoorbeeld 11 m+NAP, stand in de gracht 9 m+NAP) zou een leemlaag van minimaal een meter dik nodig zijn. In de praktijk kan het potentiaalverschil nog veel groter zijn: in de gracht is de waterstand 's zomers ca. 7 m, 's winters ca. 7,60 m. Een hoog water van 11,60 m+NAP (het hoogwater in 1995 kwam tot 11,88 m+NAP) zou al een potentiaalverschil van ca. 4 m geven en een leemlaag van ca. 2 m nodig maken. Daarmee zou de gracht eerst zeer ver uitgediept moeten worden.

uitgraven van de slotgracht

Door de slotgracht te ontdoen van bagger en puinresten zal er ook in de zomer water zichtbaar zijn. Dat bevindt zich dan op hetzelfde niveau als nu. Mogelijk zal de uitwisseling sneller verlopen met de Rijn als gevolg van het verwijderen van het slib.

5.5 Afweging

In de onderstaande matrix is een afweging gemaakt van de verschillende oplossingsrichtingen en alternatieven op grond van een aantal criteria. Daarbij is gebruik gemaakt van de "consumentenbond-methode", waarbij met plusjes en minnetjes goed en slecht scorende aspecten worden aangegeven.

	toeleiden Dunobeek	idem met vijver bij stuw	idem met Seelbeek	arthesische bron	kunstmatige bron	belemen gracht	uitbaggeren gracht
verwacht zomerpeil gracht	7,40	7,60	8,00	8,00	8,00	8,00	7,00
waterkwaliteit	+/-	+/-	+/-	++	++	0	+
cultuurhistorische aspecten	++	++	+	0	--	-	-
waterconservering	+	++	+++	--	--	0/+	0
mogelijkheden natte natuurontwikkeling	0	0/+	++	+	+	0	0
orde van grootte kosten	€ 30.000	€ 45.000	€ 300.000	€ 20.000	€ 5.000	€ 300.000	€ 200.000

5.6 Keuze

Op grond van het behalen van het gestelde streefpeil voor de gracht (7,80 m+NAP), de positieve uitkomst van de cultuurhistorische aspecten en mogelijkheden voor waterconservering en de aanvaardbare noodzakelijke investering wordt geadviseerd te kiezen voor het aankoppelen van de Dunobeek met verlenging naar de bronvijver bij de stuw.
Dit kan in de praktijk niet altijd genoeg zijn voor het behoud van het streefpeil. Als dat als bezwaarlijk wordt ervaren, kan bij het kasteel het best een aanvullende bron geplaatst worden, bij voorkeur in het tweede watervoerend pakket, die met een pompje enig aanvullend water oppompt.

Literatuur

Blauw, A., 1994: Beheersevaluatie van drie Zuid-Veluwse beken, Duno, Seelbeek en Hoge Oorsprong, aan de hand van een makrofauna-inventarisatie. Verslag Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Ecologie nr. 032/94, Landbouwuniversiteit Wageningen.

Claessens, E., 1978 Makrofauna-onderzoek in de Zuidveluwse beken: de Duno, de Seelbeek en de Hoge Oorsprong

Dienst Waterbeheer van de Provincie Gelderland, 1983: Beleid op korte termijn voor het onttrekken van grondwater in Renkum en Wageningen. Arnhem.

Gardeniers, J.J.P., en E.T.H.M. Peeters, 2005: Advies ten behoeve van beheer en onderhoud van de sprengen en sprengenbeken van de Duno, de Hoge Oorsprong en de Hemelse Berg. Rapportnummer M333. Leerstoelgroep Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer Wageningen Universiteit Omgevingswetenschappen.

Kant, G.R., 1982: Beken op de Veluwe : onderzoek naar de mogelijkheden voor herstel en behoud. Basisrapport 1 ten behoeve van de Werkgroep Sprengen en Beken Provincie Gelderland. Arnhem.

Provinciale Staten van Gelderland, 2004: Derde Waterhuishoudingsplan Gelderland 2005-2009. Arnhem.

Renes, J., Meijer, J. en Poel, K.R. de, 2002: Het Veluwse sprengenlandschap; een cultuurmonument. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen in samenwerking met de Stichting tot Behoud van de Veluwse Sprengen en Beken.

Schaafsma, R., 2003: Cultuurhistorie van de beken op de Zuid-Veluwe. Voor hen die scheppend werk doen. Waterschap Vallei en Eem, Leusden.

Supèr, J. en Gommer, C.M., 1993: Waterwinning en natuurontwikkeling op de zuidelijke Veluwezoom. rapport 2 grond- en oppervlaktewater in de Rosandepolder en Doorwerthsche Waarden. KIWA NV Onderzoek en advies in opdracht van NV PGEM Energiemaatschappij voor Gelderland en Flevoland. Nieuwegein.

Ziel, H.W. van, 2004: Masterplan Doorwerthsche Waarden. Buro Hemmen in opdracht van Stichting Natuurbeheer Doorwerthsche Waarden. Randwijk.

Ziel, H.W. van, 2005: Natuurontwikkeling Doorwerthsche Waarden. Uitwerking 1e fase Masterplan. Buro Hemmen in opdracht van Stichting Natuurbeheer Doorwerthsche Waarden. Randwijk.

Bijlage 1

Metagegevens peilpunten

5.7 Peilschaal 1

De peilschaal is aangebracht onder de noordelijke brug over de kasteelgracht en heeft een meetbereik van 6,50 tot 9,50 m+NAP.
De hoogte van de brug bedraagt 11,04 m+NAP.

De hoogtemeting heeft plaatsgehad op de brugplank boven de middelste peiler (midden ophaalbrug) in het midden van de plank.

De peilshcaal aan de zuidelijkste peiler van de brug

5.8 Peilbuis 2.1 Veerweg zomerkade

De buis is aan de oostkant van de weg geplaatst ter hoogte van de zomerkade onder een oude (niet recent afgezaagde) meidoorn.

Coördinaten RD: x: 182.787,3 y: 441.769,4

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	11,00
Hoogte bovenkant buis:	11,06
Hoogte bovenkant filter:	7,10
Hoogte onderkant filter: (buislengte 4,96 m)	6,10

Boorstaat (30-9-2004/2-10-2004):

0 - 20	humeuze, zandige klei met wortels	donkerbruin
20 - 40	puin en grind in humeuze, zandige klei	donkerbruin
40 - 50	zandige klei	bruin
50 - 70	kleiïg zand	lichter bruin
70 - 100	kleiïg zand met humusvlekjes en lichtere plekken	licht bruin
100 - 260	zandige klei/zavel	bruin
260 - 285	kleiïg zand met grind < 20 mm	bruin
285 - 310	zand met grind < 20 mm	geel-bruin
310 - 360	zand met grind < 20 mm	bruin
360 - 480	zand met grind < 40 mm	bruin
480 - 510	grof rivierzand	beige

bodemmateriaal op ca. 4 m diepte

De bodemboringen, gerangschikt van linksboven naar rechtsonder, hier tot ca. 4 m

5.9 Peilbuis 2.2 Veerweg boerderijheuvel

De peilbuis is geplaatst aan de westzijde van de Veerweg, ca. 50 cm vanaf het raster, ongeveer 2 m vanaf de hoek van het weiland.

Coördinaten RD: x: 182.700,6 y: 441.900,5

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	10,28
Hoogte bovenkant buis:	10,53
Hoogte bovenkant filter:	7,53
Hoogte onderkant filter: (buislengte 4,00 m)	6,53

Boorstaat (2-10-2004):

0 - 25	humeuze zavel	donkerbruin
25 - 180	lichte klei, zeer compact	bruin
180 - 190	lichte klei met fijn grind, gley, minder compact	bruin
190 - 205	lemig fijn zand, gley	lichtbruin
205 - 210	grind met lemig grof zand, gley	licht bruin
210 - 220	klei met gley	grijs en bruin
220 - 235	grindige klei; grind < 20 mm, gley	grijs en bruin
235 - 245	zand met grind < 20 mm	grijs-bruin
245 - 260	fijnzandige klei met gley	grijs
260 - 270	zand met grind < 20 mm, sterke roestvorming	bruin
270 - 400	grof rivierzand met grind <40 mm	grijs

grondwater op ca. 3,80 m

De peilbuis na plaatsing

De bodemboringen, gerangschikt van rechtsboven naar linksonder, hier tot ca. 4 m

5.10 Peilbuis 2.3 Veerweg Kasteel

Onder aan het oostelijke talud van de kasteeldijk (Veerweg), ter hoogte van een sloot naar het oosten, in de zichtlijn tussen het kasteel en de Eusebiustoren in Arnhem.

Coördinaten RD: x: 182.721,8 y: 442.119,7

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	8,90
Hoogte bovenkant buis:	9,52
Hoogte bovenkant filter:	7,22
Hoogte onderkant filter: (buislengte 3,30 m)	6,22

Boorstaat (14-10-2004):

0 - 25	humeuze klei	donkerbruin
25 - 55	humeuze klei met zwarte venige vlekken, gley	bruin
55 - 75	lemig zand, gley	
75 - 80	klei, gley	grijs
80 - 100	lemig zand, gley	licht grijs
100 - 170	zandige klei, gley	licht grijs
170 - 250	zandige klei	loodgrijs
250 - 290	grof zand met fijn grind < 10 mm	licht bruin

Na plaatsing van de buis wordt het gat opgevuld met filterzand. De sloot is geheel begroeid.

5.11 Peilbuis 2.4 Veerweg sluis Leigraaf

Enkele meters noordelijk van inlaatsluisje Leigraaf, op talud in de bocht van het toegangspad naar het weiland, ca. 1,5 m beneden top dijk

Coördinaten RD: x: 182.741,7 y: 442.285,4

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	9,97
Hoogte bovenkant buis:	10,97
Hoogte bovenkant filter:	7,97
Hoogte onderkant filter: (buislengte 4,00 m)	6,97

Boorstaat (19-10-2004):

0 - 70	humeuze klei met grind <15 mm	bruin
70 - 80	zandige klei, mogelijk oorspronkelijk maaiveld	licht bruin
80 - 150	zandige klei met enig grind <15 mm, zeer compact	bruin
150 - 210	sterk zandige klei, gley	licht bruin
210 - 250	kleïig zand, gley	beige
250 - 280	zandige klei, gereduceerd	donker grijs
280 - 320	grof zand, nat, met gereduceerde kleilagen	beige/grijs

5.12 Peilbuis 3.1 Leigraaf, rand maisland

Bij inrit maisland, 63 m zuidelijk vanaf toeganshek in het verlengde van zuidelijke tak Leigraaf, ca. 30 cm oostelijk van raster

Coördinaten RD: x: 183.192,5 y: 442.277,4

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	8,59
Hoogte bovenkant buis:	9,59
Hoogte bovenkant filter:	7,19
Hoogte onderkant filter: (buislengte 3,40 m)	6,19

Boorstaat (19-10-2004):

0 - 35	bouwvoor, humeuze zavel met wortels	zeer donker bruin
35 - 70	klei, compact	bruin
70 - 160	klei, gley toenemend met diepte	bruin
160 - 180	klei, overwegend gereduceerd, mangaanvlekken vochtig	grijs
180 - 210	venige klei	bruin-zwart
210 - 270	grof zand met grind <15 mm v.a. ca. 2,20 m watervoerend	beige-grijs

De peilbuis na plaatsing, later afgezaagd tot hoogte raster. Op de achtergrond Leigraaf en kasteel

De bodemboringen, gerangschikt van linksvoor naar rechtsachter, hier tot ca. 2,70 m

5.13 Peilbuis 3.2 Leigraaf, naast toegangshek in de sloot

Bij inrit maisland, ca. 1 m oostelijk van toegangshek in de greppel onder de Fonteinallee.

Coördinaten RD: x: 183.201,3 y: 442.341,8

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	8,48
Hoogte bovenkant buis:	10,38
Hoogte bovenkant filter:	7,38
Hoogte onderkant filter: (buislengte 4,00 m)	6,38

Boorstaat (19-10-2004/21-10-2004):

0 - 30	humeus, licht lemig zand	bruin
30 - 70	licht lemig zand, plaatselijk ijzervlekken, enig grind	geel-bruin
70 - 80	klei met gley en wortels,	bruin
80 - 85	vrijwel ondoordringbare steenlaag	
85 - 170	grof rivierzand, onder steenlaag veel ijzer	roestbruin/beige
170 - 220	grof, grindrijk rivierzand met grind <50 mm v.a. ca. 2,00 m watervoerend	beige-grijs

De peilbuis in de greppel, ongeveer 1 m vanaf de inrit

5.14 Peilbuis 3.3 Leigraaf, zuidelijk van toegangshek weiland

Bij de inrit van het op één na laatste weiland westelijk van de stuw, ca. 20 cm westelijk van het N-Z-raster, ca. 13 m zuidelijk van het raster langs de greppel onder langs de Fonteinallee.

Coördinaten RD: x: 183.487,0 y: 442.332,2

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	8,98
Hoogte bovenkant buis:	9,78
Hoogte bovenkant filter:	8,08
Hoogte onderkant filter: (buislengte 2,70 m)	7,08

De peilbuis in de rand van het weiland vóór het afzagen

Boorstaat (29-10-2004):

0 - 20	humeuze, lichte, zandige klei	donkerbruin
20 - 110	zavel; gley en zwarte vlekken en kalkstukjes, toenemend gereduceerd	bruin - grijs
110 - 134	tamelijk fijn zand	vrijwel wit
134 - 136	klei	donkergrijs
136 - 145	matig fijn zand, sterk gekleurd door ijzer	wit/roestbruin
145 - 152	klei	donkergrijs
152 - 180	matig fijn zand	beige
180 - 185	klei	donkergrijs
185 - 195	matig fijn zand	beige
195 - 198	klei	donkergrijs
198 - 210	grof zand en fijn grind <5 mm	roestbruin

De boring: van rechtsvoor naar linksvoor

5.15 Peilbuis 3.4 Weiland bij stuw: bronbuis van weilandpompje

Midden in het laatste weiland westelijk van de stuw, enkele meters voor het begin van de kwelsloot naar het westen, bevindt zich een bronbuis van een weidepompje voor het vee. Gedurende de winter is deze buis ook te gebruiken als extra peilpunt.

Coördinaten RD: x: 183.694,3 y: 442.274,7

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	8,65
Hoogte bovenkant buis:	8,80
Hoogte bovenkant filter:	onbekend
Hoogte onderkant filter: (buislengte 5,70 m)	3,10

Boorstaat: niet gemaakt

De bronbuis midden in het weiland gemarkeerd door paaltjes

De ligging in het landschap, gezien naar het westen

5.16 Peilbuis 3.5 Weiland bij stuw, in de hoek bij de sluis

In de uiterste zuidoosthoek van het weiland, vlak bij de schutsluis, ca. 40 cm vanaf hoekpaal

Coördinaten RD: x: 183.803,1 y: 442.229,1

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	11,11
Hoogte bovenkant buis:	11,16
Hoogte bovenkant filter:	8,16
Hoogte onderkant filter: (buislengte 4,00 m)	7,16

De peilbuis in de hoek van het weiland vlak bij de schutsluis

Boorstaat (29-10-2004):

0 - 10	bouwvoor: humeuze zavel	donkerbruin
10 - 65	lichte zavel	bruin
65 - 150	licht lemigzand met enig (grof) grind <40 mm	bruin
150 - 420	rivierzand, licht lemig met grind <40 mm	lichtbruin

De boring: van rechtsachter naar linksvoor

5.17 Peilbuis 3.6 in elzenbosje met kwel oostelijk van de stuw

Ca. 100 m oostelijk van de weg naar de stuw en zuidelijk van de Fonteinallee bevindt zich een plek met veel kwel en een elzenbosje. Daarin is een set van 3 peilbuizen in een zwarte metalen mantelbuis met deksel geplaatst. Er staat een houten paaltje met gele kop naast. Het geheel bevindt zich op ca. 10 m vanaf de weg. De hoogtemeting gaat uit van de rand van de metalen koker zonder deksel.
De buizenset is geplaatst voor het onderzoek van KIWA (Supèr en Gommer, 1993) en is in dat onderzoek aangeduid als punt 14. Voor zover bekend wordt hij niet meer gepeild.

De zwarte metalen koker in het elzenbronbosje.

Coördinaten RD: x: 183.914,7 y: 442.419,7

	m+NAP
Hoogte maaiveld:	11,22
Hoogte bovenkant mantelbuis:	11,72
Hoogte bovenkant buis 1:	11,99
Hoogte bovenkant filter 1:	11,39
Hoogte onderkant filter 1:	11,09
Hoogte bovenkant buis 2:	11,85
Hoogte bovenkant filter 2:	10,35
Hoogte onderkant filter 2:	10,05
Hoogte bovenkant buis 3:	11,84
Hoogte bovenkant filter 3:	8,59
Hoogte onderkant filter 3:	8,29

Boorstaat: (overgenomen uit Supèr en Gommer, 1993)

0 - 290	klei	grijs/bruin
290 - 355	fijn zand, sterk slibhoudend	grijs

De buizenset in de zwarte metalen koker

Kantoor Randwijk:
Ir. H.W. van Ziel
Randwijkse Rijndijk 22
6668 LM Randwijk
Tel. 0488 - 420 204
Fax 0488 - 420 562
Privé: 0488 - 420 592
email: henkvanziel@burohemmen.nl

Kantoor Voorst:
Ir. P.H.J. Ganzevles
Nijenbeekseweg 8
7383 BD Voorst
Tel. 0575 - 50 11 51
Fax 0575 - 50 11 73
Privé: 0575 - 50 29 62
email: paulganzevles@burohemmen.nl

Postbank 50 91 306
K.v.K. Centraal Gelderland 10 029 855
B.T.W.-nr. NL 0273.91.000.B.01
www.burohemmen.nl

Buro Hemmen
adviseurs natuurbeheer en ecologie