UB
MAG
Vs03773

Hullenaar
Ecohydrologisch
Adviesbureau
Molenweg 190, 8012 WR, Zwolle
Telefoon 038 - 4230821

Herstel van Elzenbroek in het Vossenbroek

Onderzoek naar de mogelijkheden van hydrologisch herstel van moerasbos in een kwelzone langs de Oost-Veluwe

UB

V503773

Herstel van Elzenbroek in het Vossenbroek

Onderzoek naar de mogelijkheden van hydrologisch herstel van moerasbos in een kwelzone langs de Oost-Veluwe

Hullenaar

Ecohydrologisch
Adviesbureau

Molenweg 190, 8012 WR, Zwolle
Telefoon / fax 038 - 4230821

opdrachtgever: Stichting het Geldersch Landschap
datum: juni 1998

0000 0321 0391

Isn gbouss

Colofon

Hullenaar Ecohydrologisch Adviesbureau
Molenweg 190
8012 WR Zwolle
Telefoon / fax: 038 - 4230821

Projecttitel:	Herstel van Elzenbroek in het Vossenbroek - Onderzoek naar de mogelijkheden van hydrologisch herstel van moerasbos langs de Oost-Veluwe.
Foto's titelpagina:	Enkele plantensoorten van het Elzenbroek: Gele lis, Moeraszegge en Elzenzegge op het wortelstelsel van een Zwarte els.
Opdrachtgever:	Stichting het Geldersch Landschap
Auteur:	ir. J.W. van 't Hullenaar

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

BIBLIOTHEEK
LANDBOUWUNIVERSITEIT
WAGENINGEN

Voorwoord

Het Vossenbroek is een uniek waterrijk natuurgebied met uitstekende potenties voor herstel van het weelderige oerwoud van een natuurlijk Elzenbroekbos. De hiervoor noodzakelijke herstelmaatregelen zijn middels het onderhavige hydrologisch onderzoek afgeleid. Het onderzoek is mogelijk gemaakt door de inzet van een grote groep mensen. De financiering is tot stand gebracht dankzij subsidie van de overheid in het kader van het Overlevingsplan Bos & Natuur (O.B.N.) en door sponsoring van de Nationale Postcode Loterij. Ook de enthousiaste en deskundige inbreng van de leden van de projectgroep waren voor de uitvoering van het onderzoek onmisbaar. Graag wil ik hiervoor Hans Boekhof, Hans Massop, Ton Roozen en Lodewijk Rondeboom bedanken. Voor het afleiden van een weloverwogen pakket van maatregelen is in de onderzoeksfase bovendien al constructief meegedacht door de heren Hovenkamp en Rem van het Waterschap Veluwe, en de heer Ooms van Rijkswaterstaat. Ook hen wil ik voor de geleverde bijdrage bedanken.

Tenslotte wil ik mijn dank uitspreken aan degenen die ten behoeve van dit onderzoek aanvullende werkzaamheden uitgevoerd hebben, of op andere manier behulpzaam zijn geweest: Ben van der Weerd voor de vakkundige assistentie van het veldonderzoek, Wim Niemeyer voor de accurate uitbreiding van het hydrologisch meetnet en R. Hofman voor de systematische verzameling van waterstandsgegevens. Tevens wil ik de heren Van Zuuk en Pannekoek bedanken voor het gebruik van veedrinkputten ten behoeve van aanvullende waterstandsmetingen. De heer Kemmers wil ik bedanken voor het bediscussiëren van het al dan niet afplaggen van de verrijkte en veraarde toplaag van de veenbodem, en Johan Zwanenburg voor de expertise op het gebied van de flora. Voor het inzicht in de belangrijke waarden van het natuurgebied is bovendien de uitgebreide en deskundige inventarisatie van het Vossenbroek door het K.N.N.V. van groot belang geweest.

Jan-Willem van 't Hullenaar
Zwolle, juni 1998

Inhoud

1	**Inleiding**	3
2	**Gebiedsbeschrijving**	5
2.1	Fysiografische beschrijving	5
2.1.1	Geologie	5
2.1.2	Geomorfologie en hoogteligging	6
2.1.3	Bodem	7
2.1.4	Vegetatie van het Elzenbroekbos	8
2.2	Hydrologische beschrijving	11
2.2.1	Regionale hydrologie	11
2.2.2	Lokale hydrologie	14
3	**Waterkwaliteitsonderzoek**	17
4	**Resultaten modelberekeningen**	20
4.1	Huidige hydrologische situatie	20
4.2	Scenarioberekeningen van de herstelmaatregelen	23
4.2.1	Toelichting op de scenario's	23
4.2.2	Resultaten scenarioberekeningen	24
5	**Synthese, conclusies en aanbevelingen voor het waterbeheer**	42
5.1	Ecohydrologische systeembeschrijving van de huidige situatie	42
5.2	Gewenste herstelmaatregelen	43
5.2.1	Ecohydrologisch herstel op de korte termijn	44
5.2.2	Ecohydrologisch herstel op de lange termijn	48
5.2.3	Aanvullende herstelmaatregelen	50
5.3	Ontwikkelingsmogelijkheden voor vegetaties op de lange termijn	53
	Literatuur	
	Bijlagen	

1 Inleiding

Het Vossenbroek heeft door het optreden van kwel een nat karakter. In het noordelijke gedeelte van het Vossenbroek ligt een waardevol Elzenbroekbos (zie figuur 1.1). Het gebied is in de ecosysteemvisie bos aangemerkt als A-lokatie. A-lokaties zijn boslokaties die het meest representatief zijn voor natuurlijke bosgemeenschappen in Nederland. Het Vossenbroek is in Gelderland de enige A-lokatie van het Elzenbroekbos-type. In het gebied is een weelderige vegetatie aanwezig, waarin onder meer de bijzondere Elzenzegge voorkomt. De Elzenzegge is een specifieke soort van het Elzenbroek in de beekdalen. Door de geringe oppervlakte is het gebied echter kwetsbaar. De kern wordt negatief beïnvloed door ontwatering en instroming van voedselrijk water uit bovenstrooms gelegen gebied. Dit gebied is tot voor kort in landbouwkundig beheer geweest.

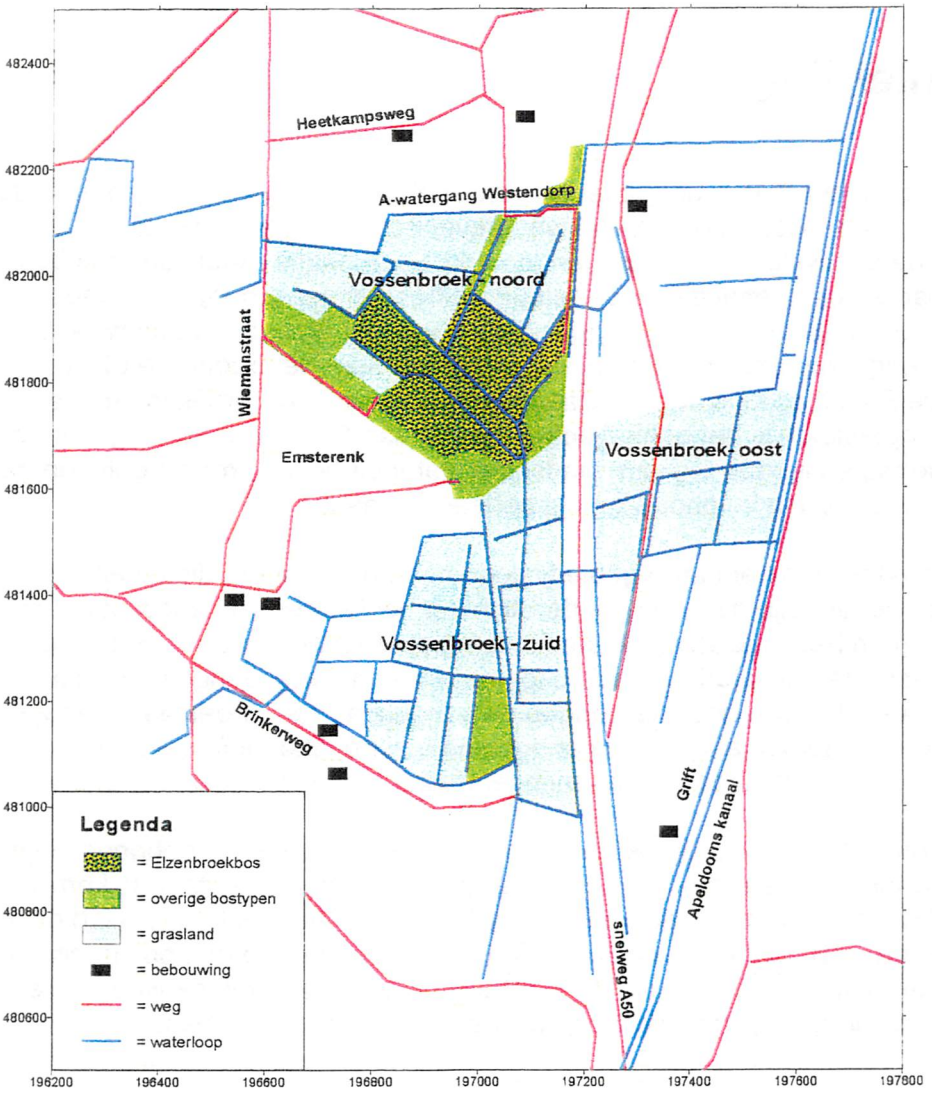
In het overige deel van het natuurgebied liggen natte graslanden, die recentelijk in eigendom en beheer zijn gekomen bij de Stichting het Geldersch Landschap. De graslanden zijn in het verleden vrij intensief landbouwkundig beheerd. Het gebied is bemest, en voor de ontwatering is een uitgebreid slotenstelsel aangelegd. Hierdoor zijn de ecologische waarden van het graslandgebied aangetast. Verder bestaat de mogelijkheid dat zowel het Elzenbroek als het graslandgebied ook negatief beïnvloed wordt door externe bedreigingen, zoals ontwatering van omringende landbouwgebieden en waterwinning.

Het is gewenst in het Vossenbroek de levensgemeenschappen die gebonden zijn aan natte omstandigheden te herstellen. Het is met name van belang de bestaande kern van het Elzenbroekbos te versterken. Hiervoor zijn hydrologische herstelmaatregelen noodzakelijk. Behalve maatregelen binnen het natuurgebied is het de vraag of het ook noodzakelijk is externe maatregelen te treffen. Om de maatregelen op verantwoorde wijze uit te kunnen voeren is inzicht in het hydrologische functioneren van het gebied vereist.

Doelstelling

Doel van het onderzoek is het aangeven van zowel interne als externe ingrepen die leiden tot vernatting en herstel van de kwel van het Vossenbroek. Hierbij worden de volgende vragen onderscheiden:

- In hoeverre is er sprake van kwel in het Vossenbroek en omgeving ?
- Wat is de herkomst van het kwelwater ?
- Hoe verhouden de grond- en oppervlaktewaterstanden binnen het Vossenbroek zich ten opzichte van de waterstanden in de omgeving, en wat betekent dat voor de kwelinvloed in het natuurgebied ?
- Welke maatregelen leiden tot herstel van de hydrologie, en wat zijn de te verwachten effecten van de maatregelen ?
- Wat zijn de ontwikkelingsmogelijkheden voor de natuur ?



Figuur 1.1 ligging studiegebied (groen = eigendom Stichting het Geldersch Landschap)

Werkwijze

Het onderzoek is opgebouwd uit vier delen:

- Inventarisatie
- Waterkwaliteitsonderzoek
- Modellering
- Synthese en conclusies

Begonnen is met een inventarisatie van de geologische opbouw, geomorfologie, bodem, regionale hydrologie en lokale hydrologie (hoofdstuk 2). Vervolgens is voor het afleiden van de aanwezigheid en herkomst van het kwelwater en het vaststellen van eventuele vervuilingen van het grond- en oppervlaktewater een waterkwaliteitsonderzoek gedaan (hoofdstuk 3). Door middel van de modellering is het inzicht in de hydrologie van de huidige situatie gecomplementeerd, en zijn de oorzaken van verdroging aangeven. Met het model zijn een aantal scenario's doorgerekend waarin herstelmaatregelen zijn opgenomen. De resultaten van de modelberekeningen zijn opgenomen in hoofdstuk 4, de modelbouw is opgenomen in de bijlagen. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de inventarisatie, het waterkwaliteitsonderzoek en de modellering bijeengebracht voor een integrale syteembeschrijving van de huidige situatie, de conclusies ten aanzien van de gewenste herstelmaatregelen en de beschrijving van de effecten van de herstelmaatregelen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Fysiografische beschrijving

2.1.1 Geologie

De geologische opbouw van het Vossenbroek en de omgeving is schematisch weergeven in de geohydrologische dwarsdoorsnede van figuur 2.2. Het Vossenbroek ligt in het glaciale dal van de IJssel, juist ten oosten van de stuwwal van de Veluwe. In de voorlaatste ijstijd, het Saaliën, lag in het glaciale dal van de IJssel een ijslob. Door de grote druk van het ijs werden de preglaciale zandige afzettingen in de ondergrond weggeperst, en langs de randen van het dal opgestuwd tot de oostelijke stuwwal van de Veluwe. Onder het landijs is als grondmorene een 50 tot 100 m dik keileempakket afgezet. Na smelting van het ijs werd het dal opgevuld met een pakket matig grofzandige fluvioglaciale afzettingen.

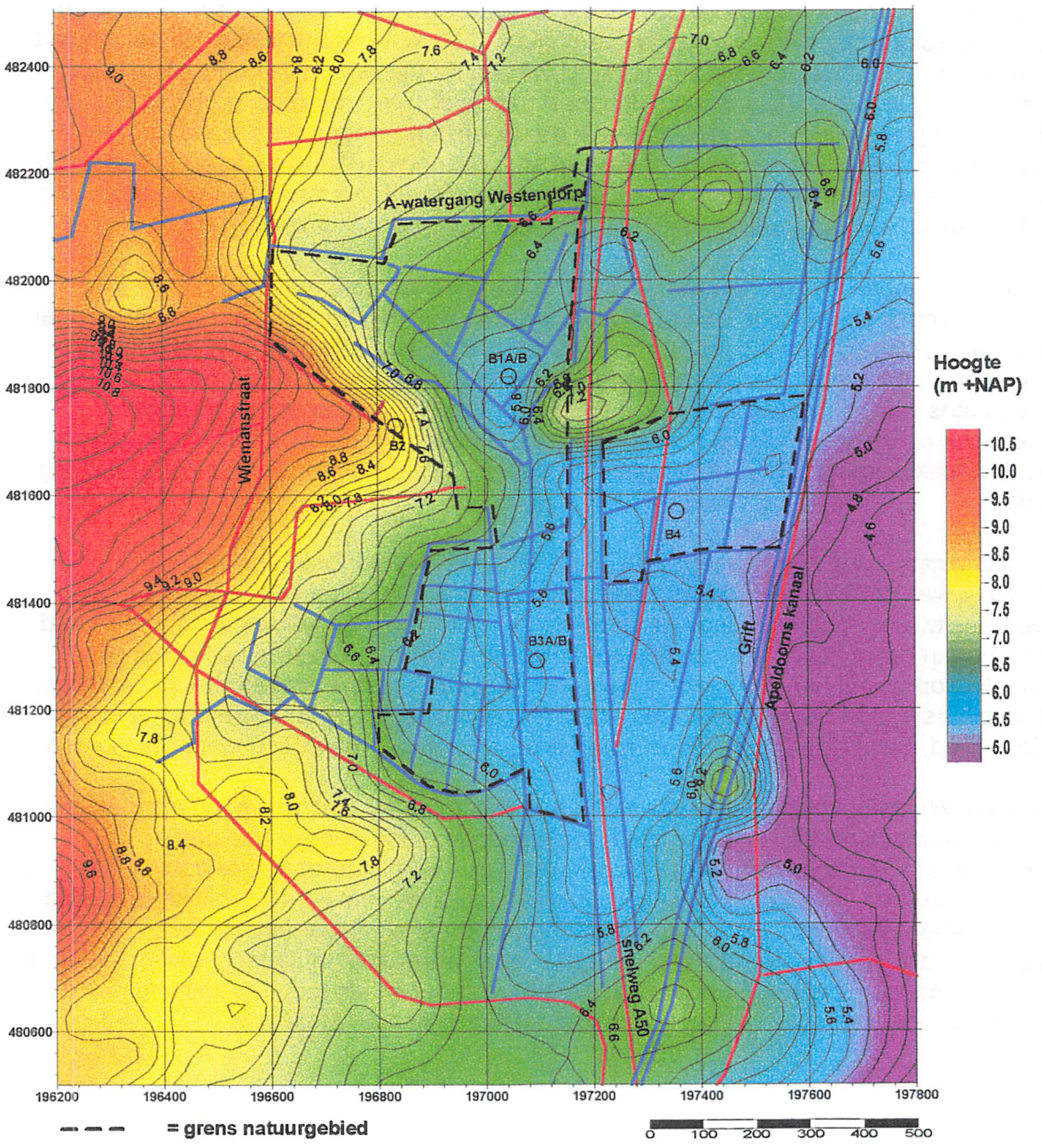
Na de koude periode volgde een warme periode die gepaard ging met een zeespiegelstijging. De glaciale dalen werden opgevuld met marien sediment. De afzettingen bestaan uit zanden en kleien behorende tot de Eemformatie. De mariene afzettingen zijn kalkrijk door de aanwezigheid van schelpresten (boorbeschrijvingen RGD). Uit de boorgegevens van de RGD in de omgeving van het Vossenbroek is afgeleid dat het Vossenbroek op de grens van het verspreidingsgebied van de Eemklei ligt. In het gebied zelf is de Eemklei aanwezig, in de hogere gronden die aan de westzijde grenzen is de laag afwezig.

In de laatste ijstijd, het Weichseliën, was in ons land een permafrost aanwezig: de ondergrond was permanent bevroren, en de bovengrond ontdooide in de zomer. Sneeuwsmeltwater stroomde langs de oppervlakte af, en het meegevoerde materiaal werd in laaggelegen delen afgezet. Deze fluvioperiglaciale afzettingen bestaan uit grindrijke zanden. Hierop volgde een koude periode waarin door een sterke invloed van de wind veel zand verplaatst werd. Het gebied werd bedekt met een 5 tot 10 meter dikke laag dekzand: het Eper zand. Dit zand is matig fijn tot matig grof, en is grover dan de jongere dekzanden.

Tijdens een koude laatglaciale periode wordt onder permafrost omstandigheden weer grindrijk materiaal afgezet: het Eper grind. In de boringen ten behoeve van het hydrologische meetnet van het Vossenbroek werd deze laag over een dikte van 0,2 tot 1 meter aangetroffen. Op deze periode volgde weer een stadium waar onder invloed van de wind veel zand werd verplaatst, en de jonge dekzanden afgezet werden. In het Vossenbroek zijn deze dekzanden in de hogere delen aanwezig. In de laaggelegen delen is direct boven de laag van het Eper grind in het Holoceen veen afgezet. Op sommige plaatsen is op de overgang van veen naar zand lemig materiaal aanwezig.

2.1.2 Geomorfologie en hoogteligging

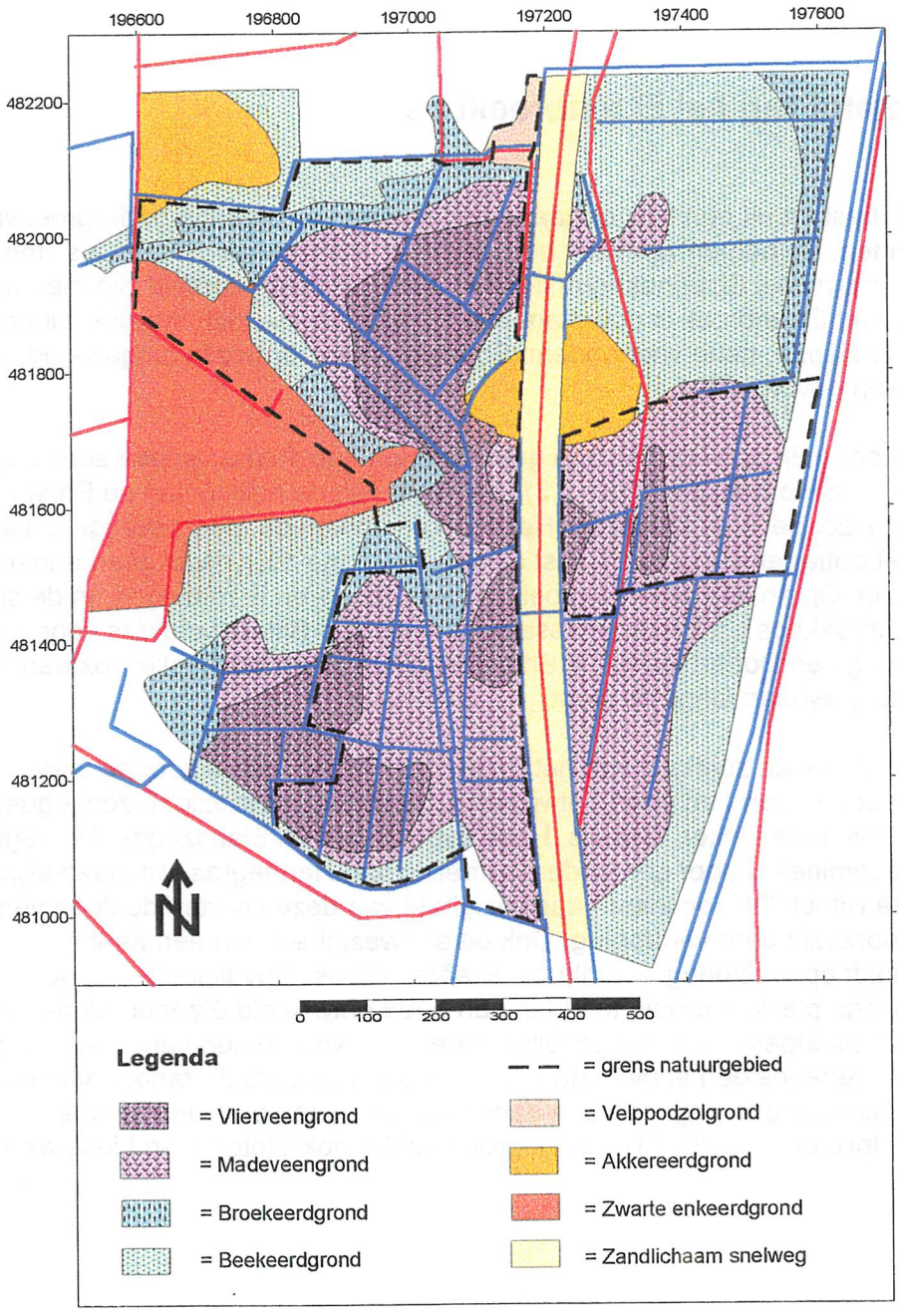
In figuur 2.1 is de hoogtekaart van het studiegebied opgenomen. Het Vossenbroek ligt in de overgangszone van de hoge gronden van de Veluwe naar de lage gronden in het IJsseldal. Het Vossenbroek ligt in twee laagten die tot ver in de hogere gronden doordringen. De noordelijke laagte wordt door een dekzandrug en een uitloper van de hoge gronden gescheiden van de zuidelijke laagte. Via een nauwe doorgang tussen de dekzandrug en de uitloper van de hoge gronden staat het noordelijke deel in verbinding met de rest van het Vossenbroek. De snelweg A50 ligt op een hoog zandcunet op ongeveer 7,0 m +NAP. Omdat exacte meetgegevens van het cunet tijdens het onderzoek niet beschikbaar waren is het cunet niet in de hoogtekaart opgenomen.



Figuur 2.1 Hoogtekaart van het Vossenbroek en omgeving

2.1.3 Bodem

De beschrijving van de bodemkundige situatie is gebaseerd op een gedetailleerde bodemkartering van de gemeente Epe (Van Liere en Steur, 1955). In de laaggelegen delen liggen veengronden. Bij de bodemkartering van 1955 waren in de noordelijke laagte met het Elzenbroekbos en plaatselijk in de rest van het gebied Vlierveengronden aanwezig. Dit zijn gronden met een laag gerijpt, maar niet veraard veen. In het grootste gedeelte van het gebied waren toen al Madeveengronden aanwezig. Deze gronden worden gekenmerkt door de aanwezigheid van een veraarde toplaag. Aan de randen van de lage delen was de dikte van de veenlaag geringer. Hier lagen broekeerdgronden: gronden met een moerige laag met een dikte van 15 à 40 cm.



Figuur 2.2 Bodemkaart van het Vossenbroek (Van Liere en Steur, 1955)

Bij de boringen voor de plaatsing van peilbuizen B1 en B4 in 1997 is gebleken dat op deze plekken de Vlierveengrond is veranderd in een Madeveengrond. Bij de boring van peilbuis B3 bleek in plaats van een Madeveengrond een Broekeerdgrond aanwezig te zijn. Blijkbaar is door ontwatering oxydatie van het veen opgetreden, waardoor de toplaag van het veen verder veraard is en de veendikte afgenomen is.

Op de overgang naar de hogere gronden liggen Beekeerdgronden. Dit zijn gronden met een minerale eerdlaag en roestverschijnselen ondiep in de zandondergrond. In de nog iets hoger gelegen delen liggen Veldpodzolgronden, en de op de Emsterenk ligt een Enkeerdgrond.

2.1.4 Vegetatie van het Elzenbroekbos

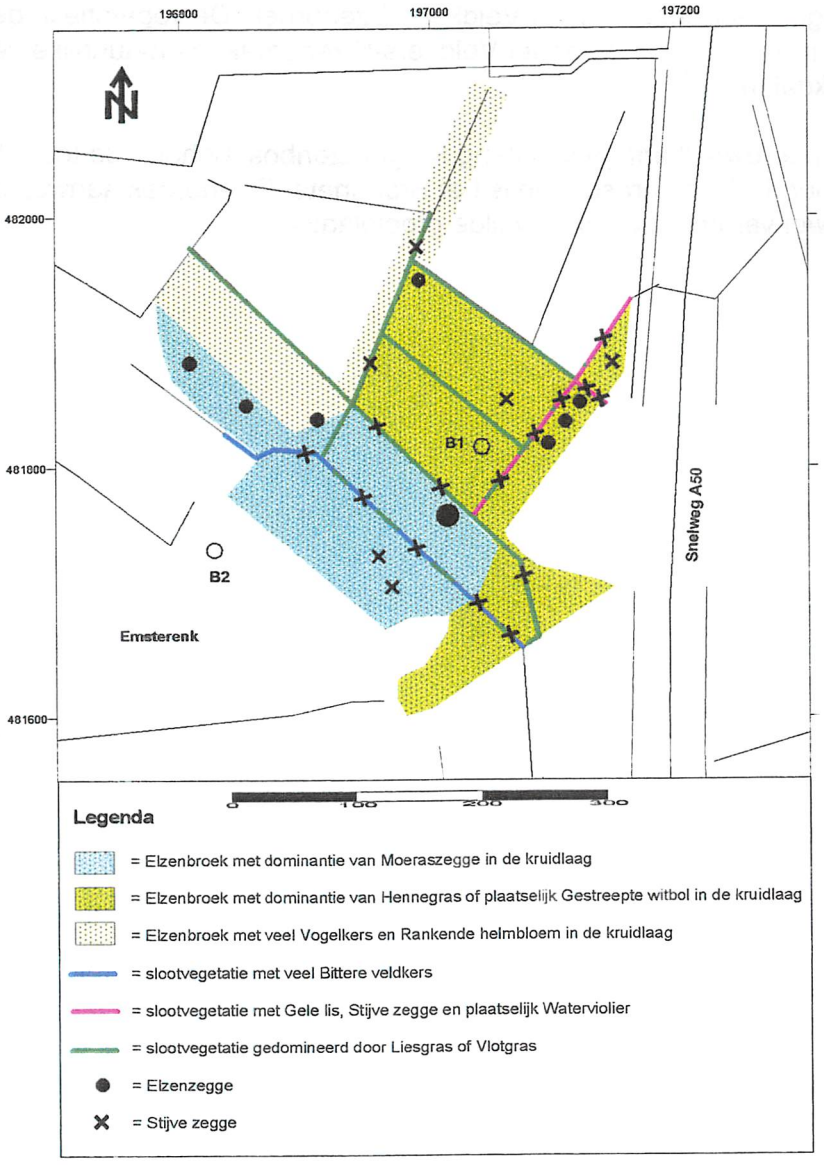
Het Elzenbroek bestaat uit een flink opgaand bos met een weelderige ondergroei van struiken en kruiden. De bomen zijn vaak begroeid met liaanachtige planten als Hop en Kamperfoelie. Er zijn veel Elzenhakhout-stobben aanwezig die begroeid zijn met fraaie mosvegetaties. Het Elzenbroek is doorplant met Populieren, die zich moeilijk kunnen handhaven in de slappe, natte veenbodem. Sommige Populieren zijn omgewaaid, waardoor er ondiepe poelen gevormd zijn.

In het Vossenbroek is in de verschillende gebiedsdelen een sterke variatie aanwezig in het karakter van het Elzenbroek (zie figuur 2.3). Aan voet van de helling van de Emsterenk domineert Moeraszegge in de kruidlaag. Het voorkomen van de Moeraszegge is een indicatie van het optreden van kwel. Naast de Moeraszegge zijn vrijwel geen andere soorten aanwezig. Op enkele plekken groeien Stijve Zegge en Elzenzegge. In de sloot die hier in het Elzenbroekbos ligt komen massa-vegetaties van Bittere veldkers voor, met hier en daar Beekpunge en Dotterbloem. De Bittere veldkers groeit plaatselijk ook aan het maaiveld van de grasbaan langs de sloot.

Aan de noordoostkant en zuidkant van het Elzenbroek komen meer soorten voor. Plaatselijk zijn soorten van een goed ontwikkeld Elzenbroek aanwezig: Elzenzegge, Stijve zegge, Zwarte bes, Kale jonker, Gele lis, Hoge cyperzegge en Blaaszegge. De vegetatie wordt echter gedomineerd door een onderbegroeiing van Hennegras, en plaatselijk ook door Gestreepte witbol. De dominante aanwezigheid van deze soorten duidt op verstoring, in dit geval veroorzaakt door verdroging. Ook de aanwezigheid van een aantal ruigtesoorten duidt op verstoring: Framboos, Braam, Pitrus. Opvallend is dat de Elzenzegge op lage plekken groeit, terwijl in een goed ontwikkeld Elzenbroek de soort vaak op stobben of deels afgestorven zeggepollen groeit. Het voorkomen van Elzenzegge op de lage plekken is eveneens een aanwijzing voor verdroging. Langs de randen van de sloten zijn uitbundige Stijve zegge-begroeiingen aanwezig. De sloten bevatten tevens Waterviolier, Holpijp en Gele lis. Plaatselijk groeit echter ook Vlotgras en Liesgras in en langs de sloten.

Langs de randen van het voormalig landbouwgebied aan de noordwestkant groeit veel Gewone vogelkers in het Elzenbroek. Verder zijn hier en daar Rankende helmbloem, Wilde kamperfoelie, Lijsterbes, Krenteboompje, Es en Framboos aanwezig. Elzenzegge ontbreekt. Aan de oever van de sloot is plaatselijk Stijve zegge aanwezig. Op de meeste plaatsen domineert Liesgras echter. Op de grasbaan groeit een ruigte-vegetatie met Brandnetel, Gestreepte witbol, Kleefkruid en Kruipende boterbloem.

Verspreid in het Elzenbroek is plaatselijk Wilgenstruweel aanwezig: op de overgang van een open stuk naar het Elzenbroek aan de noordkant, en in het Moeraszegge-Elzenbroek de zuidkant. De bodem in het Wilgenstruweel is bedekt met monotone Witbol en Ruw beemdgras vegetaties. Het Wilgenstruweel aan de noordkant heeft een vegetatie met Brandnetel, Witbol en Kleefkruid.



Figuur 2.3 *Globale overzichtskaart van de huidige vegetatie van het Elzenbroekbos (beknopte inventarisatie door Zwanenburg en Van 't Hullenaar 1998)*

Op basis van de typologie die in de beschrijving van de Nederlandse Broekbossen wordt gegeven (KNNV, 1998) kunnen de verzamelde vegetatiegegevens nader geclassificeerd en gekarakteriseerd worden.

De vegetatie in het oostelijke deel kan gerekend worden tot het Framboos-Elzenbroek: de subassociatie van de verdroogde beekdalen. De dominante aanwezigheid van Hennegras doet echter ook denken aan het Hennegras-Elzenbroek, maar deze subassociatie komt volgens de literatuur slechts op één plaats in Nederland voor als rompgemeenschap in een beekdal met voedselarme kwel. De vegetatie in de sloten aan de noordoostkant heeft elementen van de subassociatie van het Elzenzegge-Elzenbroek tv (tv = typische vorm). Dit is de natuurlijke vegetatie van natte beekdalen.

De vegetatie in de het zuidoostelijke deel kan gerekend worden tot het Moeraszegge-Elzenbroek, de rompgemeenschap van het Veldkers-Elzenbroek. De vegetatie in de sloot aan de zuidwestkant in kenmerkend voor het Veldkers-Elzenbroek: de natuurlijke vegetatie van de kwelrijke beekdalen.

De vegetatie aan de noordwestkant gaat richting Ruigt-Elzenbos, behorende tot het Vogelkers-Elzen verbond. Op de grasbanen is het Brandnetel-Elzenbroek aanwezig, kenmerkend voor zowel verdroogde als vervuilde groeiplaatsen.

2.2 Hydrologische beschrijving

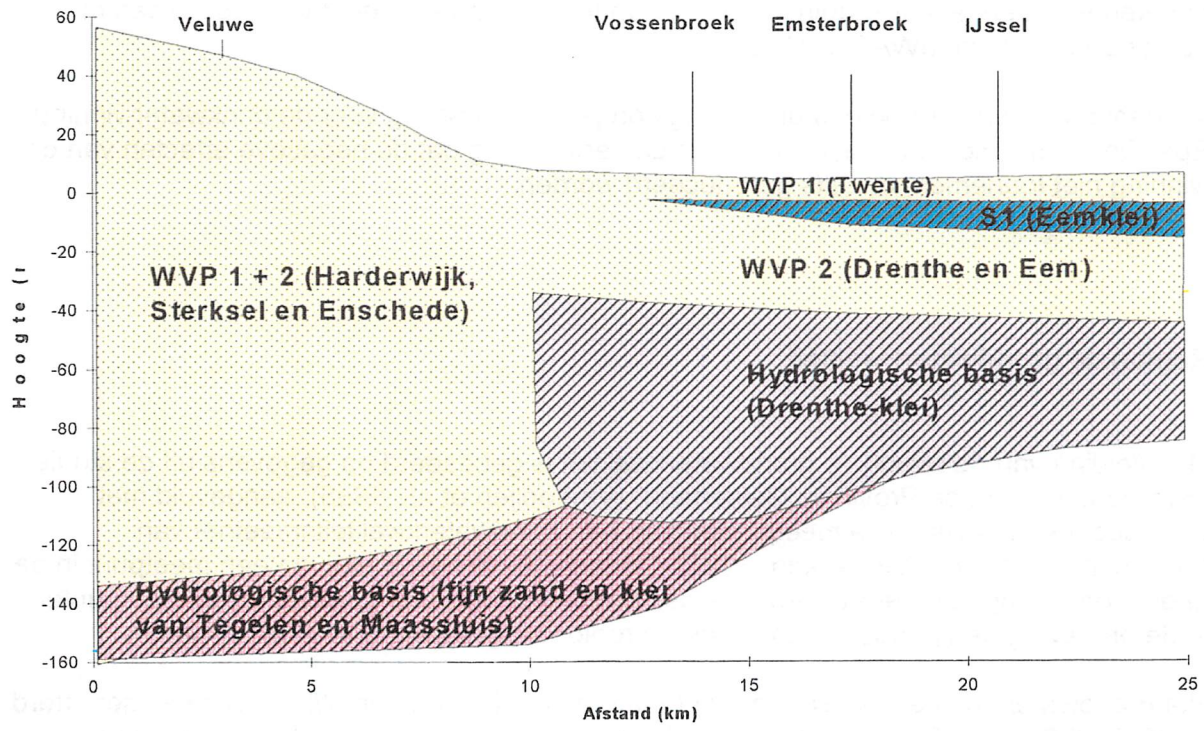
2.2.1 Regionale hydrologie

Bij de gebiedsbeschrijving worden de geohydrologische opbouw en de regionale waterkwaliteit behandeld. De regionale grondwaterstroming wordt met behulp van de grondwatermodellering afgeleid.

Geohydrologische opbouw (figuur 2.4)

De slecht doorlatende afzettingen van de Formatie van Drenthe in het oostelijke en middendeel van het studiegebied sluiten aan op de slecht doorlatende afzettingen van de Formatie van Tegelen in het westelijke deel van het studiegebied. In het kader van deze studie worden deze Formaties als hydrologische basis beschouwd.

In het oostelijke en middendeel van het studiegebied ligt boven de hydrologische basis van Formatie van Drenthe het tweede watervoerende pakket. Dit pakket bestaat uit matig grove tot grove zanden van de Formaties van Drenthe en de Eemformatie. Het tweede pakket wordt van het eerste gescheiden door een laag Eemklei. Ten oosten van het Vossenbroek, in het Emsterbroek, is de laag Eemklei 10 m dik, en heeft een aanzienlijke weerstand (500 dagen). In het Vossenbroek zelf is de dikte beperkt tot enkele meters, waardoor de weerstand ook relatief laag is. Het eerste watervoerende pakket wordt gevormd door een afwisseling van matig fijne en matig grove, grindrijke zanden van de Formatie van Twente.



Figuur 2.4 *Regionale geohydrologische dwarsdoorsnede met het Vossenbroek (van west naar oost, gebaseerd op IWACO, 1992 en RGD-boringen)*

In het westelijke deel van het studiegebied (Veluwemassief) is geen scheidende laag aanwezig. Boven de hydrologische basis van de Formatie van Tegelen ligt één groot watervoerend pakket, bestaande uit grove zanden van de Formaties van Harderwijk, Sterksel en Enschede.

Op de overgang van de Veluwe naar het Vossenbroek ligt een zone waar de eerste scheidende laag van de Eemklei ontbreekt, maar waar de hydrologische basis wel gevormd wordt door de Formatie van Drenthe. Hier vormen de grofzandige afzettingen van de Formaties van Drenthe en de Eemformatie tezamen met de zanden van de Formatie van Twente één watervoerend pakket.

Grondwateronttrekking

In de directe omgeving van het Vossenbroek wordt op beperkte schaal grondwater gewonnen voor industriële doeleinden. Het betreft twee winningen op het industriegebied van Vaassen, 1 à 2 km ten zuidwesten van het Vossenbroek. De onttrokken hoeveelheden in 1996 bedragen 43.000 m^3 / j voor de winning van Venz, en 27.000 m^3 / j voor de winning van CKW. Het water wordt uit het tweede watervoerende pakket gewonnen.

Ten zuiden en ten noorden van het Vossenbroek wordt aan de rand van de Oost-Veluwe veel drinkwater gewonnen. Het Vossenbroek ligt buiten het beïnvloedingsgebied van de zuidelijk gelegen winning van Apeldoorn (IWACO, 1992). Op 6 km ten noordwesten van het Vossenbroek ligt het drinkwater pompstation Epe. Hier wordt per jaar 4 à 5 miljoen m^3 grondwater gewonnen. Het station heeft een vergunning voor 6 miljoen m^3 / j. Het Vossenbroek en omgeving liggen op de rand van het beïnvloedingsgebied van de winning: de berekende waterstandsverlagingen bij een onttrekkingshoeveelheid van 3,8 miljoen m^3 / j bedragen 5 à 10 cm (IWACO, 1992).

Momenteel is een verdrogings-bestrijdings-project in uitvoering voor de drinkwaterwinning Epe. Door infiltratie van beekwater is het de verwachting dat de negatieve effecten van de winning niet toenemen, of zelfs gereduceerd worden.

Regionale grondwaterkwaliteit

De afleiding van de regionale grondwaterkwaliteit is gebaseerd op gegevens uit de studie "Hydrochemie van de Provincie Gelderland" (Verkooijen et al., 1985), aangevuld met analysegegevens van twee meetpunten van het grondwaterkwaliteitsmeetnet van Gelderland (Provincie Gelderland, 1996). Ondanks de afwezigheid van een meetpunt in de directe omgeving van het Vossenbroek is door combinatie van gegevens van meetpunten in de omgeving een goede indicatie van de regionale grondwaterkwaliteit te geven.

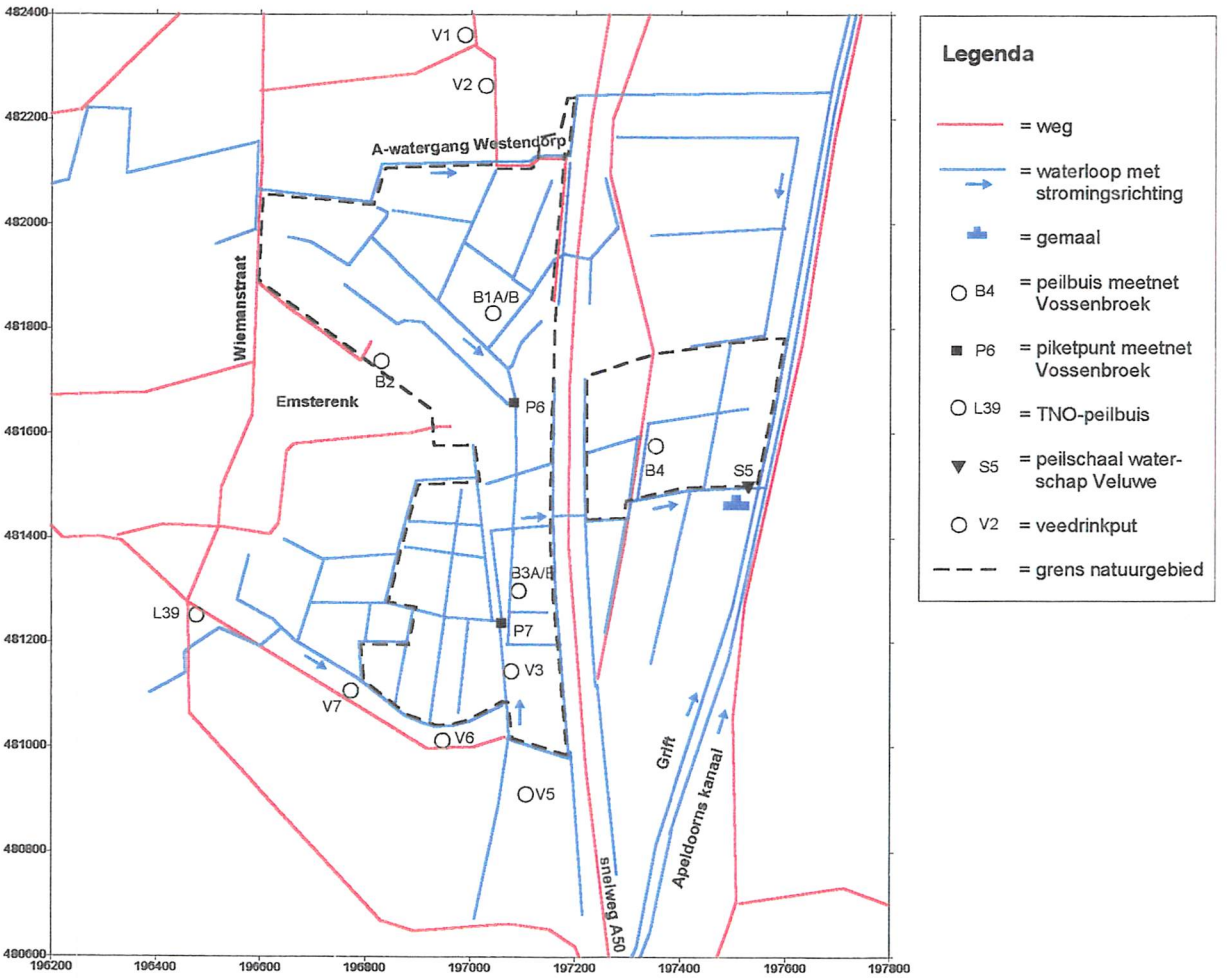
Het grondwater van de Veluwe is zacht (totale hardheid < 0,5 mmol/l), zeer zwak gebufferd (HCO_3^- < 0,25 mmol/l) en bevat weinig mineralen (EGV < 200 microS/cm). Het diepe grondwater is schoon: de chloride gehalten zijn laag (10 à 15 mg/l), en er zijn vrijwel geen voedingsstoffen aanwezig

In de overgangszone naar het IJsseldal is het diepe grondwater onder de Eemklei matig hard (totale hardheid 1,2 tot 1,5 mmol/l). De EGV ligt tussen de 200 en 300 microS/cm. Het chloride gehalte is laag (15 mg/l), en er is geen nitraat in het water aanwezig.
In de richting van het IJsseldal neemt de hardheid en de EGV van het diepe grondwater onder de Eemklei verder toe (totale hardheid 2 à 4 mmol/l, EGV 300 à 400 microS/cm).

2.2.2 Lokale hydrologie

Waterhuishouding (figuur 2.5)

In het verleden is ten behoeve van de ontwatering en afwatering van landbouwgronden in het Vossenbroek een uitgebreid sloten- en greppelstelsel aangelegd. Het Vossenbroek watert met behulp van een gemaal af op het Apeldoorns kanaal. Het winterpeil in de polder bedraagt 4,7 m +NAP, en in de zomer mag de waterstand oplopen tot 4,8 m +NAP. Het bemalingsgebied sterkt zich uit over de vlakke, laaggelegen gronden in het zuidelijke deel van het Vossenbroek, aan weerszijden van de snelweg. De omringende hellende gebieden aan de rand van het Vossenbroek, en het gehele noordelijke deel met het Elzenbroek wateren vrij af op het bemalingsgebied.



Figuur 2.5 Waterlopenkaart en hydrologisch meetnet Vossenbroek

Sloten die binnen het bezit van het Gelders Landschap liggen, en geen waterafvoerende functie voor landbouwgronden hebben, worden niet meer onderhouden. De sloten zijn grotendeels verland. Hierdoor is het waterpeil in deze sloten verhoogd. Waterlopen die wél een afwaterende functie voor landbouwgronden hebben, worden wel onderhouden, en hebben een lage drainagebasis.

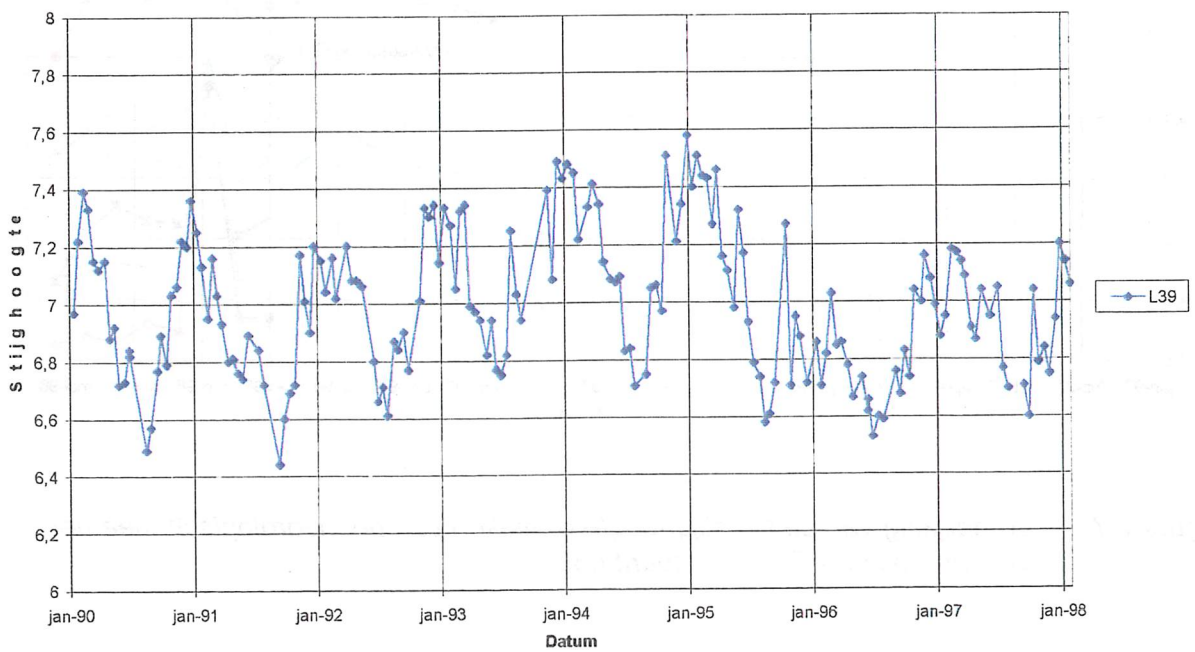
Het Apeldoorns kanaal wordt gestuwd en heeft een hoger peil dan zijn omgeving: het peil bedraagt 5,55 m +NAP. Direct ten westen van het Apeldoorns kanaal ligt de Grift. Deze hoofdwaterloop heeft een vrije afwatering. De Grift zorgt voor de afvoer van het wateroverschot van veel vrij afwaterende beken en sloten van de Oost Veluwe. Op de noordgrens van het Vossenbroek ligt een hoofdwaterloop die ook afwatert op de Grift: de A-watergang van Westendorp.

In het gebied ten noorden van het Vossenbroek ligt het stroomgebied van de Verloren beek (buiten het kaartvlak van figuur 2.5, wel opgenomen in figuren 4.1 en 4.2). Ten zuiden ligt het stroomgebied van de Smallertse beek. Het oorspronggebied van deze beken ligt direct aan de voet van het Veluwemassief. Ten westen van het Vossenbroek, in het hooggelegen gebied tussen beide beken in, is behalve de bovenloop van de A-watergang van Westendorp geen waterloop van betekenis aanwezig.

Grondwater

In de gebiedsbeschrijving wordt alleen de grondwaterstands-fluctuatie behandeld. De lokale grondwaterstroming en kwelsituatie worden met behulp van de modellering onderzocht. Voor de afleiding van de lokale waterkwaliteit is een veldonderzoek uitgevoerd, wat beschreven wordt in hoofdstuk 3.

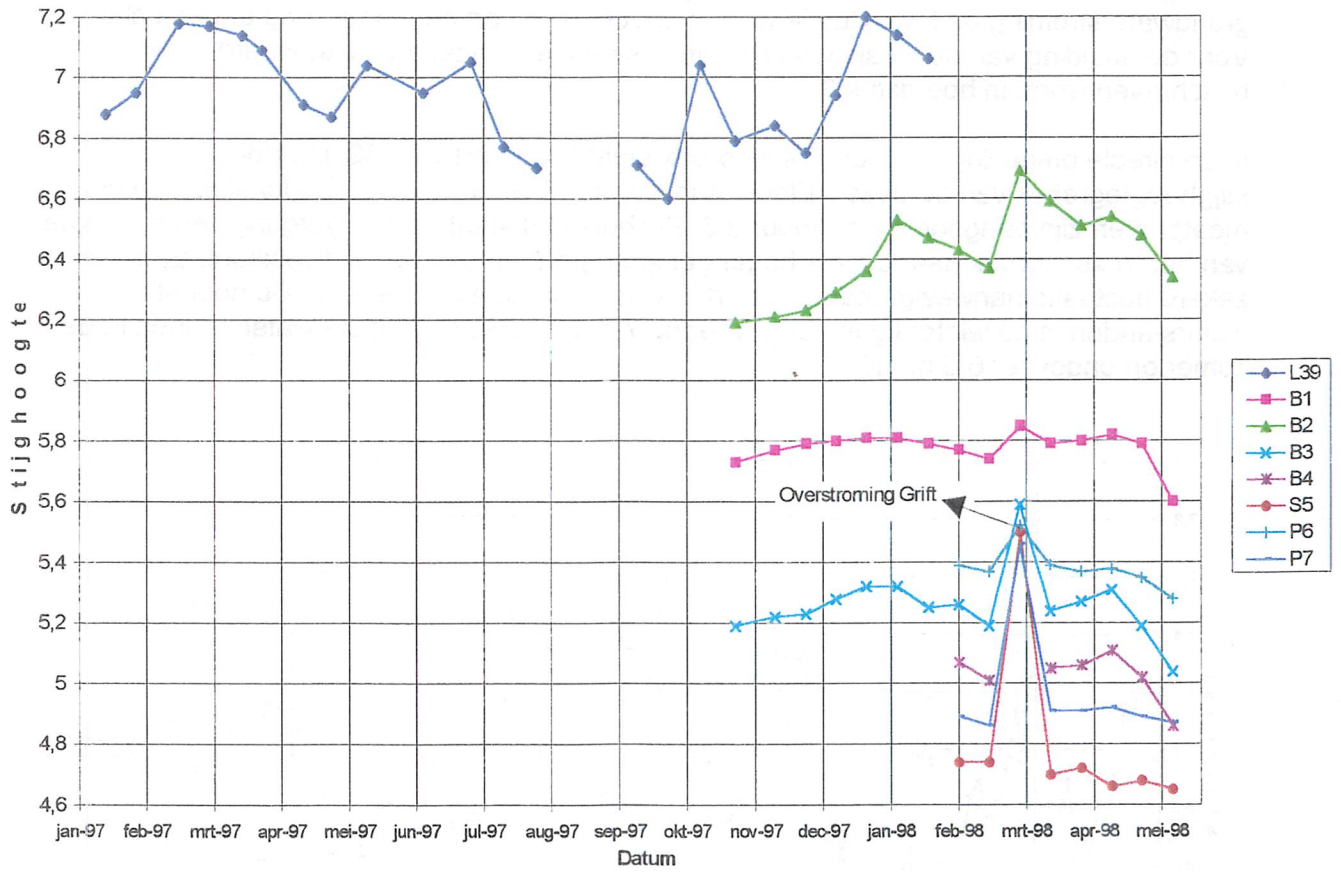
In de directe omgeving van het Vossenbroek staat TNO-peilbuis L39. De tijd-stijghoogtegrafiek van de deze peilbuis is in figuur 2.6 weergegeven. De lokaties van de meetpunten zijn aangegeven in figuur 2.6. Peilbuis L39 staat op de overgang van de laagte van het Vossenbroek naar de iets hoger gelegen gronden aan de zuidwestkant. Er is een zekere fluctuatie aanwezig, maar de sterkte van de fluctuatie is beperkt. De hoogste waterstanden in de winter liggen ongeveer op 7,4 m +NAP, de laagste waterstanden in de zomer op ongeveer 6,6 m +NAP.



Figuur 2.6 Tijd-stijghoogtegrafiek TNO-peilbuis L39

Van het hydrologische meetnet Vossenbroek zijn vanaf half oktober 1997 gegevens beschikbaar. Voor de interpretatie zijn de meetgegevens van het meetnet tezamen met de waterstanden van L39 van geheel 1997 in één grafiek weergegeven (figuur 2.7). De grafieken van S5, P6 en P7 laten zien dat de peilen in de waterlopen aanzienlijk lager zijn dan de grondwaterpeilen, de waterlopen hebben dus een grote drainerende werking. Het waterstandsverloop van de peilbuizen in de lage delen van het Vossenbroek (B1, B3 en B4) is uitermate vlak. Door overstroming van de Grift treedt begin maart 1998 met name in B4 een sterke peilverhoging op. Pas in mei begint de waterstand in de laaggelegen te dalen. B2 ligt aan de rand van de Emsterenk, tegen het noordelijke deel van het Vossenbroek aan. Hier is wel een grotere waterstandsfluctuatie aanwezig. Het verloop is echter minder grillig dan dat van L39.

Uit vergelijking met L39 is af te leiden dat de gemeten waterstanden in de winter van 1997/1998 representatief geacht kunnen worden voor een natte winterperiode. De gegevens zijn daarom goed bruikbaar voor de callibratie van een modellering van een natte periode.



Figuur 2.7 *Vergelijking van de tijd-stijghoogte grafieken van het hydrologisch meetnet Vossenbroek en TNO-meetpunt L39*

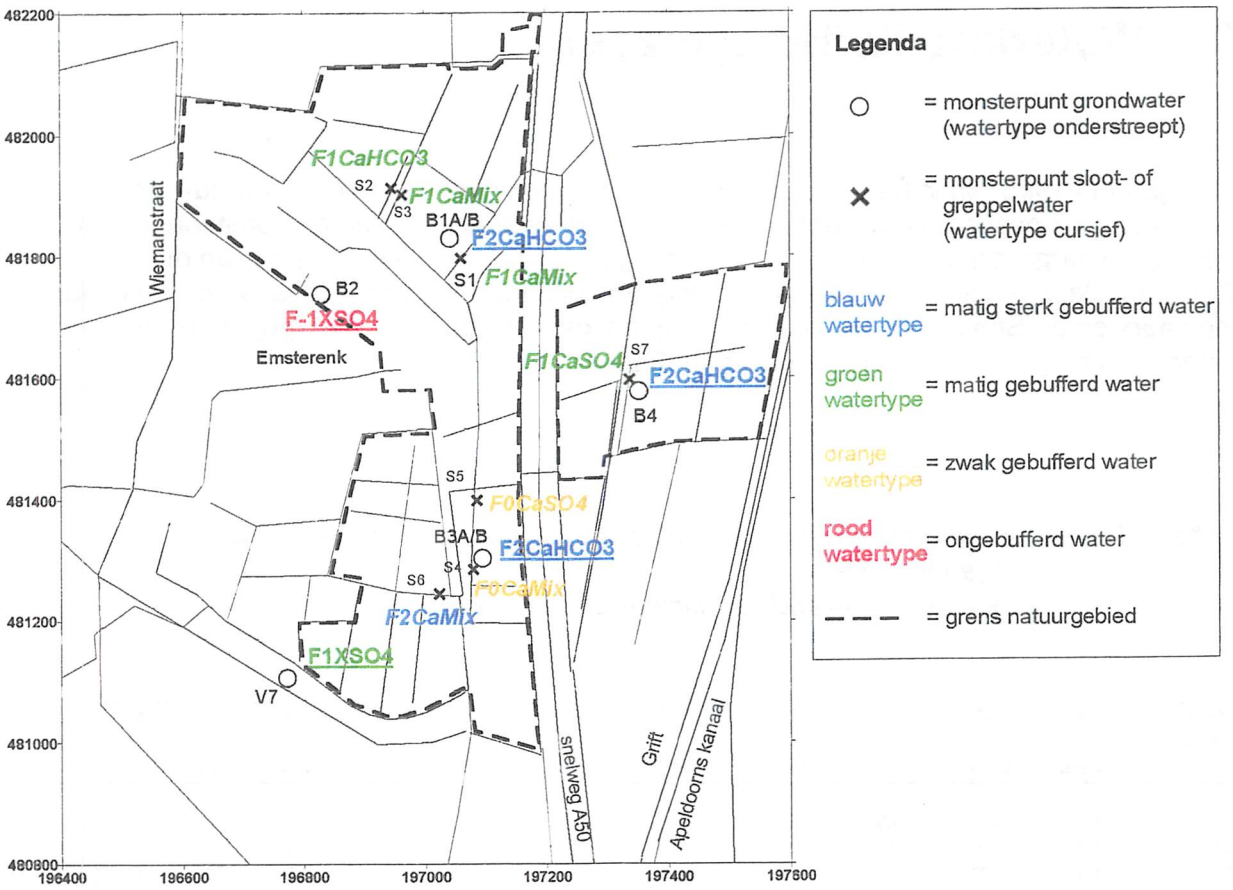
3 Waterkwaliteitsonderzoek

Op 6 januari 1998 zijn in het Vossenbroek 12 watermonsters genomen: 5 grondwatermonsters en 7 oppervlaktewatermonsters. De meetresultaten van de bemonstering zijn in tabel 3.1 weergeven. De resultaten zijn nader geïnterpreteerd aan de hand van de Stuyfzandclassificatie en de ionen-ratio diagram volgens Van Wirdum. De lokaties van de monsters en de Stuyfzandclassificatie zijn op de kaart in figuur 3.1 weergegeven. Het ionen-ratio diagram is opgenomen in figuur 3.2.

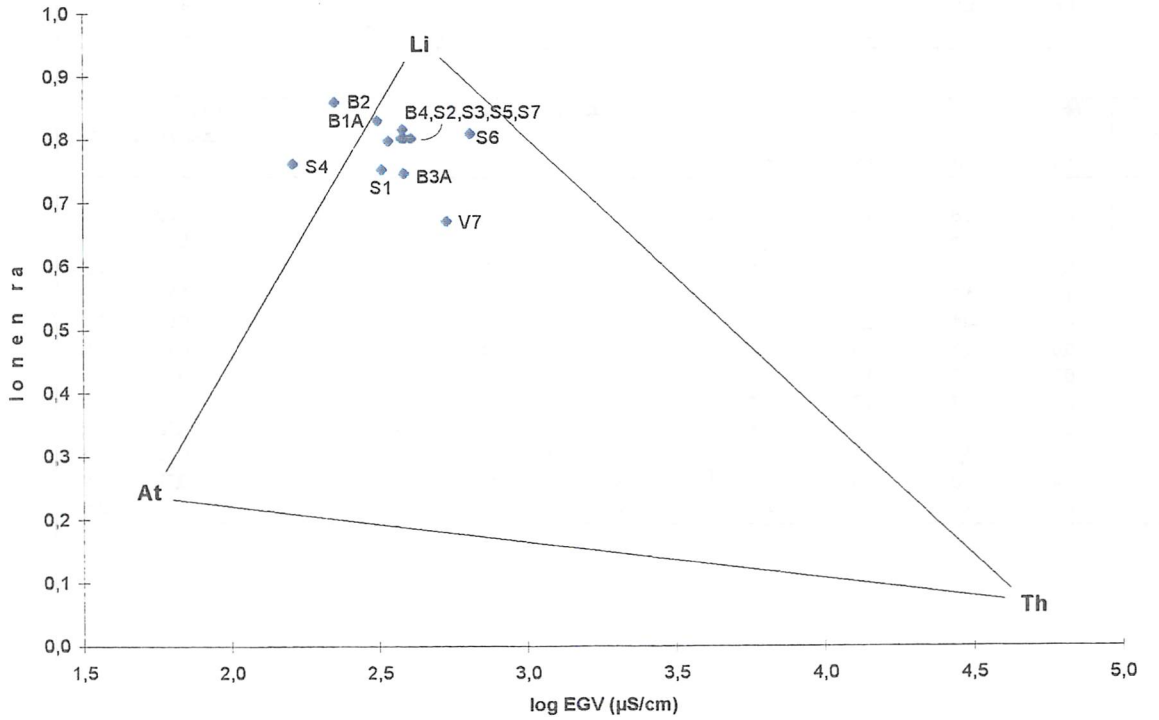
Tabel 3.1 Resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek van het Vossenbroek op 6 januari 1998 (verklaring Stuyfzandclassificatie: zie bijlage 2)

Monster-nummer	Temp	EGV	pH	HCO3-	Cl-	NO3-	PO4—	SO4—	TH	Ca++	Mg++
	Celsius	microS/cm		meq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	mg/l	mg/l
B1A	8,7	312	7,0	2,7	13	0	0,19	3	0,9	36	0
B2	8,7	225	4,9	0,2	4	49	0,06	55	0,5	22	0
B3A	8,1	377	7,1	3,1	22	0	0,64	2	1,3	50	0
B4	7,7	385	7,2	3,0	22	0	0,78	11	1,3	50	0
V7	8,3	534	6,1	1,0	25	84	0,05	110	0,7	29	0
S1	4,7	324	6,3	1,2	23	7	0,16	61	1,0	40	0
S2	5,5	340	6,9	2,0	21	7	0,11	33	1,2	47	0
S3	5,6	383	6,8	1,5	26	5	0,12	73	1,1	43	0
S4	5,9	162	6,3	0,5	12	0	0,58	38	0,5	22	0
S5	5,5	405	6,1	0,5	22	21	0,58	124	1,3	50	0
S6	6,6	640	6,8	2,8	33	14	0,65	117	2,0	79	0
S7	5,8	380	6,3	1,2	20	20	1,39	82	1,3	50	0

Monster-nummer	NH4+	Fe	Na+ & K+	log(PCO2)	Stuyfzandclassificatie				IR op basis TH	IR op basis Ca
	mg/l	mg/l	mmol/l	mmol/l						
B1A	0,3	0,6	1,3	-1,73	F	2	Ca	HCO3	0,80	0,83
B2	0,0	0,0	1,2	-0,84	F	-1	X	SO4	0,88	0,91
B3A	0,7	0,1	1,3	-1,81	F	2	Ca	HCO3	0,76	0,80
B4	1,1	1,9	1,3	-1,92	F	2	Ca	HCO3	0,76	0,80
V7	0,0	0,1	3,9	-1,30	F	1	X	SO4	0,62	0,67
S1	0,6	1,7	1,3	-1,42	F	1	Ca	Mix	0,71	0,75
S2	0,2	1,3	1,1	-1,75	F	1	Ca	HCO3	0,76	0,80
S3	0,5	1,2	1,7	-1,78	F	1	Ca	Mix	0,70	0,75
S4	0,5	1,7	0,5	-1,80	F	0	Ca	Mix	0,72	0,76
S5	1,1	0,9	1,5	-1,60	F	0	Ca	SO4	0,76	0,80
S6	0,4	0,8	2,4	-1,55	F	2	Ca	Mix	0,77	0,81
S7	0,7	1,2	1,3	-1,42	F	1	Ca	SO4	0,78	0,82



Figuur 3.1 *Monsterlokaties en Stuyfzandclassificatie van het waterkwaliteitsonderzoek in het Vossenbroek*



Figuur 3.2 *Ionen-ratio diagram volgens van Wirdum*

Uit de resultaten blijkt het grondwater in de lage delen van het Vossenbroek (B1, B3A en B4) een lithoclien (= "grondwaterachtig") karakter heeft: het is gebufferd en hard. Het water onder het Elzenbroekbos (B1) is het schoonst: het heeft een laag chloride gehalte (13 mg/l), er is geen nitraat aanwezig, en de concentraties ammonium en fosfaat zijn laag (respectievelijk 0,3 en 0,2 mg/l). De chloride gehalten bij B3A en B4 zijn iets verhoogd: 22 mg/l, en er is ammonium (0,7 tot 1,1 mg/l) en fosfaat (0,6 tot 0,7 mg/l) aanwezig.

Het grondwater van de monsterpunten aan de rand van de hoge grond aan de westkant van het Vossenbroek heeft zeer hoge nitraatgehalten: 49 mg/l bij B2 en 84 mg/l bij V7. Het water op de rand van de Emsterenk (B2) is in tegenstelling tot de rest van de bemonsterde punten vrijwel niet gebufferd en vrij sterk zuur. Omdat in het water van B2 wel wat calcium aanwezig is, en het chloride gehalte zeer laag is wordt het water in het ionen-ratio diagram toch als lithoclien gekarakteriseerd.

Het water in de sloten en greppels in de lage delen van het Vossenbroek heeft net als het onderliggende grondwater een lithoclien karakter. De buffering van het water is echter een stuk minder dan dat van het grondwater op dezelfde lokatie. Dit wordt veroorzaakt door bijmenging van zuur neerslagwater en zuur ondiep grondwater met het kwelwater.

In het slootwater zijn ook voedingsstoffen aanwezig. In het noordelijke deel (S1, S2 en S3) zijn de gehaltes aan voedingsstoffen beperkt (nitraat 5 tot 7 mg/l, ammonium 0,2 tot 0,6 mg/l en fosfaat 0,1 tot 0,2 mg/l). Opmerkelijk is dat de waterkwaliteit van de sloot met Liesgras (S3) vergelijkbaar is met die van een in de buurt gelegen sloot met Waterviolier (S2). Het water in de sloten en greppels in het zuidelijke deel is over het algemeen sterker verrijkt met voedingsstoffen (nitraat 15 tot 20 mg/l, ammonium 0,4 tot 1,1 mg/l en fosfaat 0,6 tot 1,4 mg/l).

In tegenstelling tot de overige monsters van waterlopen is het water van S6 afkomstig uit een diepe sloot. Het water in deze sloot is sterk gebufferd (bicarbonaat = 2,8 mmol / l) en hard (totale hardheid 2,0 mol/l). Het water is hier net als in de overige sloten verrijkt met voedingsstoffen.

4 Resultaten modelberekeningen

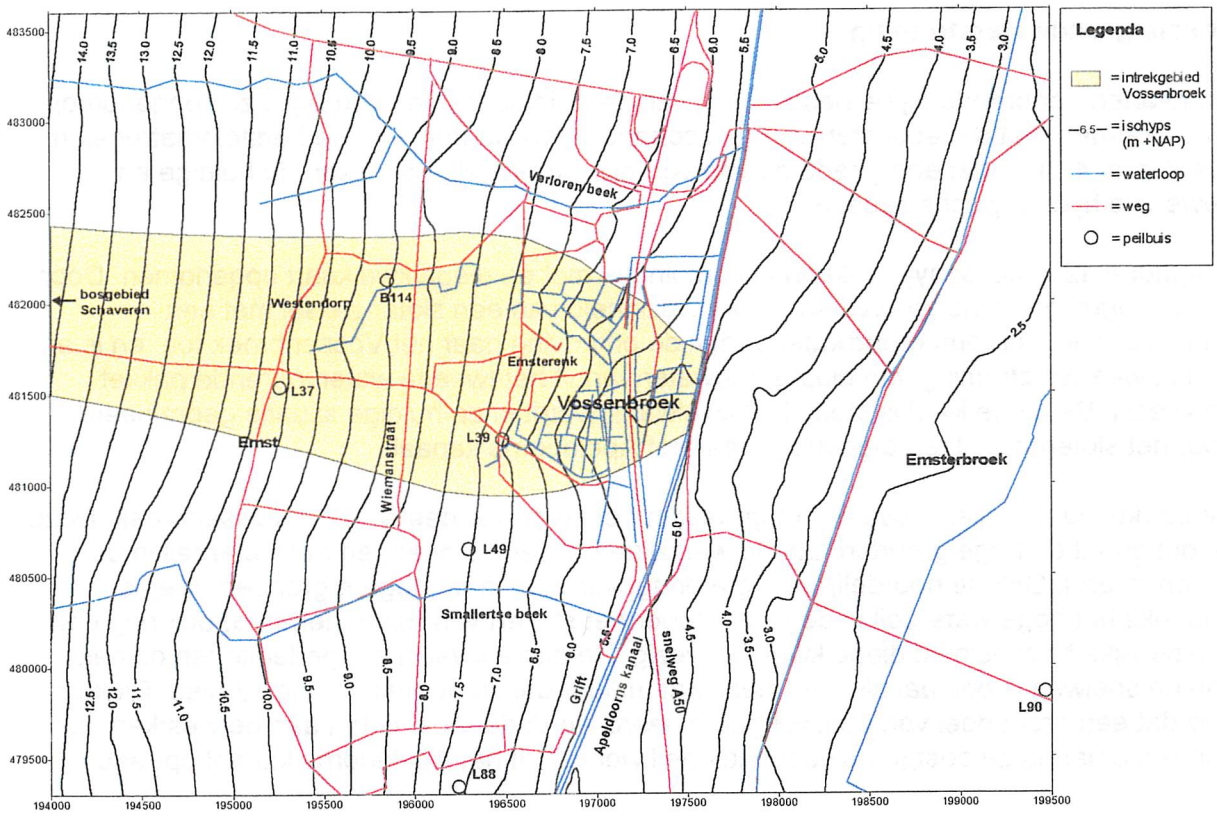
4.1 Hydrologie in de huidige situatie

Regionale grondwaterstroming

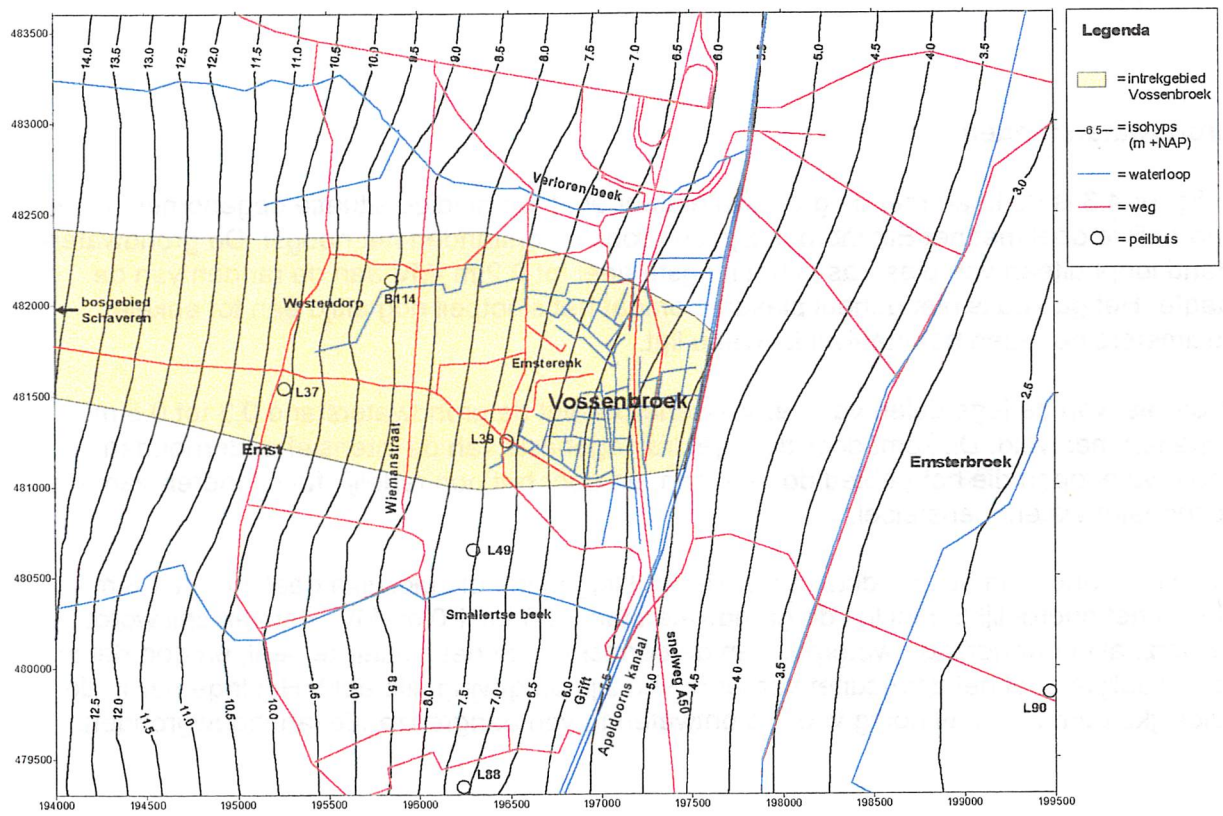
In de figuren 4.1 en 4.2 worden de stromingspatronen van het ondiepe en diepe grondwater weergegeven. Het grondwater stroomt in oostelijke richting. Aan de westgrens stroomt water dat van de Veluwe afkomstig is het modelgebied binnen, en aan de oostgrens verlaat het grondwater het modelgebied in de richting van de IJsselvallei. Ten westen van het Vossenbroek is het isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater gelijk aan dat van het diepe grondwater: er is slechts één watervoerend pakket. Vanaf het Vossenbroek in oostelijke richting is door de aanwezigheid van de Eemklei het isohypsenpatroon van het diepe grondwater afwijkend van dat van het ondiepe. In het Vossenbroek en het Emsterbroek zijn de stijghoogten van het diepe grondwater hoger dan die van het ondiepe grondwater: er is een kweldruk aanwezig. In het Vossenbroek bedraagt de kweldruk 0,3 tot 0,5 m. In het Emsterbroek loopt de kweldruk uiteen van 0,3 m direct ten oosten van het Apeldoorns kanaal tot 0,1 m aan de oostkant.

In de isohypsenkaarten is het intrekgebied van het grondwater dat naar het Vossenbroek stroomt aangeven. Het intrekgebied wordt gevormd door een langgerekte zone die vanaf de Emsterenk doorloopt naar achtereenvolgens Westendorp, de hoge gronden bij Schaveren, en uiteindelijk de Oost-Veluwe (buiten het kaartvlak). In dit gebied is slechts één waterloop van betekenis aanwezig, de A-watergang van Westendorp. De rest van het gebied wordt gevormd door vrij hooggelegen zandgronden.

Met het model zijn ook de verblijfstijden van het grondwater dat naar het Vossenbroek stroomt berekend. Tussen het bosgebied bij Schaveren en het Vossenbroek bedraagt de verblijfstijd van het grondwater ongeveer 30 à 50 jaar, en vanaf Westendorp ongeveer 10 à 20 jaar. De verblijfstijd vanaf de Veluwe bedraagt naar schatting ongeveer 100 jaar.



Figuur 4.1 Isohypsenkaart van het eerste watervoerende pakket (ondiepe grondwater)



Figuur 4.2 Isohypsenkaart van het tweede watervoerende pakket (diepe grondwater)

Lokale grondwaterstroming

De kaarten behorende bij de beschrijving van de huidige lokale hydrologie zijn opgenomen bij de kaarten met de resultaten van de scenario berekeningen van de herstelmaatregelen (paragraaf 4.2), zodat een goede directe vergelijking mogelijk is tussen de huidige en gewenste hydrologische situatie.

In figuur 4.12 is de isohypsenkaart in combinatie met de diepe kwelkaart opgenomen. Door de lage ligging van het gebied en de aanwezigheid van een slotenstelsel met een onderbemaling stroomt grondwater vanuit de omgeving naar het Vossenbroek toe, en is er een opwaartse stroming van diep grondwater vanuit het tweede watervoerende pakket aanwezig. De diepe kwel is sterk. Het kwelwater wordt in de huidige situatie gedraineerd door het slotenstelsel, en afgevoerd naar het Apeldoorns kanaal.

De sterkte van de diepe kwel is het grootst in het zuidelijke deel van het Vossenbroek. Deze laagte dringt de hoge gronden aan de westzijde het verst binnen, en het waterpeil in de sloten is laag. Ook de noordelijke laagte dringt ver door in de hogere gronden. Hier is ondanks het hoge waterpeil in de sloten (door het staken van het onderhoud) ook nog een aanzienlijke hoeveelheid diepe kwel aanwezig. De diepe kwel in het gedeelte ten oosten van de snelweg is ook aanzienlijk, maar wat minder dan in de rest van het gebied. Dit komt doordat een groot deel van de kwel gedraineerd wordt door de sloten aan de westkant, en doordat er langs de oostgrens veel ondiepe kwel vanuit het Apeldoorns kanaal optreedt.

In figuur 4.8 is een kaart opgenomen van de maaiveldskwel. Hieruit blijkt dat in de huidige situatie in natte perioden alleen in het Elzenbroekbos in het noordelijke deel van het Vossenbroek plaatselijk maaiveldskwel optreedt. De afwezigheid van maaiveldskwel in de rest van het Vossenbroek wordt veroorzaakt door de sterke drainerende werking van de waterlopen.

Grondwaterstanden

In figuur 4.3 is de kaart met de grondwaterstanden in de huidige situatie opgenomen. In het noordelijke deel met het Elzenbroek zijn de grondwaterstanden het hoogst. De grondwaterstand loopt uiteen van plasdras in het laagste deel tot 0,2 m -MV aan de randen van de laagte. Het gebied is niet geheel plasdras omdat het slootpeil nog altijd één tot enkele decimeters beneden het maaiveldsniveau ligt.

In de rest van de lage delen van het Vossenbroek ligt de grondwaterstand 0,3 tot 0,5 m beneden maaiveld. Dit komt door de lage drainagebasis van de intensief onderhouden hoofdwaterlopen die het gebied doorkruisen, en door het nog redelijk functioneren van het secundaire waterlopenstelsel.

De waterstanden in het zandcunet van de A50 liggen in het zuidelijke deel 1,4 tot 1,8 m -MV. In het noordelijke deel ligt de grondwaterstand 0,8 tot 1,0 m -MV. Het verschil wordt veroorzaakt door het lage waterpeil van de bermsloten in het zuidelijke deel, en doordat in het zuidelijke deel het zandcunet verder boven zijn omgeving uitsteekt. Het lage peil in de zuidelijke bermsloten is nodig voor de ontwatering van aangrenzende landbouwgronden.

4.2 Scenarioberekeningen van de herstelmaatregelen

4.2.1 Toelichting op de scenario's

Naast het 0-scenario (huidige situatie) zijn de volgende scenario's doorgerekend:
- Scenario 1A Beperkte, gemakkelijk realiseerbare interne herstelmaatregelen.
- Scenario 1B Uitvoerige, moeilijker realiseerbare interne herstelmaatregelen.
- Scenario 2 Interne en externe maatregelen.

In de onderstaande tekst wordt een toelichting gegeven op de pakketten van maatregelen die in de verschillende scenario's zijn opgenomen. De waterhuishoudkundige maatregelen zijn aangegeven op de kaarten van de resultaten van de scenario-berekeningen (zie paragraaf 4.2.2).

Scenario 1A

De eenvoudig realiseerbare interne maatregelen (scenario 1A) zijn:
- Afdamming of demping interne secundaire waterlopen.
- Stuwen van de hoofdwaterloop in het zuidwestelijke deel van het Vossenbroek tot 5,5 m +NAP.
- Afkoppeling van de afwatering van de noordelijke bermsloten van het noordelijke deel van het Vossenbroek (Elzenbroek), en afwatering in noordelijke richting op de A-watergang Westendorp, handhaving van het huidige hoge waterpeil in de bermsloten.
- Handhaving zuidelijke bermsloten snelweg en handhaving van het huidige lage waterpeil van de bermsloten, ten behoeve van afvoer uit bovenstrooms gelegen landbouwgebied.
- Afplaggen van de toplaag (10 cm) van de voormalige landbouwgronden.

Scenario 2

Voor het realiseren van een zo optimaal mogelijk hydrologisch herstel van het Vossenbroek zijn ook maatregelen in de omgeving van het huidige eigendom gewenst (scenario 2):
- Gescheiden afwateringssysteem in het zuidelijke deel van het Vossenbroek: oppervlakkige afvoer van natuurwater via het huidige tracé, en afvoer van landbouw- en snelwegwater via een nieuwe verbinding ten zuiden van het Vossenbroek op de Grift.
- Peilverhoging van de bermsloten tot aan het niveau van het peil in het natuurgebied: 5,6 m +NAP aan de westkant van de snelweg, en 5,4 m +NAP aan de oostkant.
- Verwerving laaggelegen landbouwgebieden en verschuiving van de afwateringslopen naar de grenzen van het natuurgebied. Het betreft hierbij uitbreidingen aan zuidwestkant, noordwestkant en noordoostkant van het natuurgebied.

Scenario 1B

Uitgaande van de uiteindelijk gewenste waterhuishoudkundige inrichting kunnen zonder extra investeringen op korte termijn al veel verdergaande maatregelen getroffen worden (scenario 1B):

- Op korte termijn aan de zuidkant van het Vossenbroek al nieuwe verbinding onder de snelweg door realiseren: zo kunnen de lage landbouwgronden aan de westkant van de snelweg op het bemalen gebied aan de oostkant van de snelweg afgewaterd worden, en kan het peil in een groot deel van de bermsloten al verhoogd worden. Bovendien kan dan gelijk de afwatering van de zuidelijk bermsloten gescheiden worden van de afwatering van het natuurgebied.
- Afwatering van de landbouwgronden ten zuidwesten van het Vossenbroek via de sloot langs de Brinkerweg, en de nieuwe verbinding onder de snelweg.
- Afkoppeling van de afwatering van de landbouwgronden bij boerderij Vossenbroek van het natuurgebied, en vrije afwatering op de Grift.

4.2.2 Resultaten scenarioberekeningen

De resultaten zijn in kaartvorm op vier manieren weergegeven:

- Grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld (figuren 4.3 t/m 4.7).
- Maaiveldskwel in combinatie met het isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater (figuren 4.8 t/m 4.11).
- Diepe kwel in combinatie met het isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater (figuren 4.12 t/m 4.15)
- Grondwaterstandsverhogingen ten opzichte van de huidige situatie (figuren 4.16 t/m 4.18).

Scenario 1A

Bij beperkte interne maatregelen (scenario 1A) kan het noordelijke deel van het Vossenbroek al voor een groot deel tot op het gewenste niveau gebracht worden. Daarbij wordt ook de maaiveldskwel hersteld. De diepe kwel verminderd echter vrij sterk, maar blijft wel enigszins aanwezig. In het zuidelijke en oostelijke deel van het Vossenbroek concentreert de diepe kwel zich op de waterlopen die een laag peil houden: in het natuurgebied neemt de diepe kwel af. Omdat er in het zuidelijke en oostelijke deel nog afwateringslopen van landbouwgebieden via het natuurgebied lopen blijven de grondwaterstanden hier aan de lage kant, en treedt nauwelijks maaiveldskwel op.

Scenario 1B

Bij verdergaande maatregelen (scenario 1B) worden in het zuidelijke en oostelijke deel van het Vossenbroek veel sterkere waterstandsverhogingen gerealiseerd. Dit is in grote mate te danken aan de scheiding van de afwatering van het natuurwater en het landbouw- / snelwegwater in het zuidelijke deel van het Vossenbroek. Binnen de huidige omgrenzing van het Vossenbroek kunnen door het afdammen of dempen van de waterlopen de waterstanden grotendeels tot aan of vlak boven maaiveld gebracht worden, en wordt de maaiveldskwel hersteld. Ondanks de peilverhogingen blijft in het noordelijke en zuidelijke deel van het Vossenbroek de diepe kwel gehandhaafd. Door realisering van de maatregelen kan de uiteindelijk gewenste hydrologie (nat en kalkrijke kwel tot aan het maaiveld) al voor een deel gerealiseerd worden.

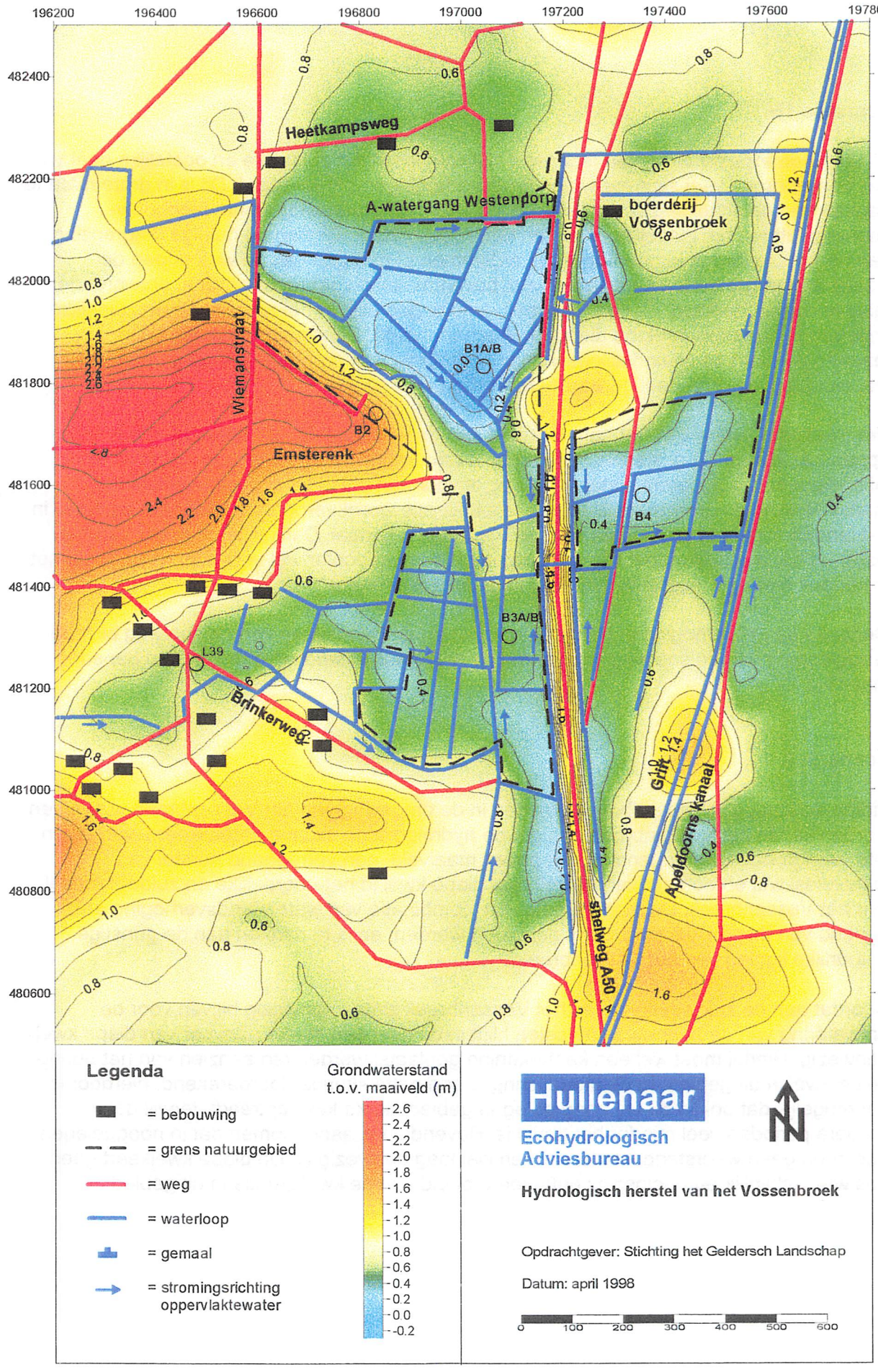
Het overtollige water van het natuurgebied aan de westkant van de snelweg wordt oppervlakkig naar de oostelijke zone van het natuurgebied afgevoerd, zodat ook in dit infiltratiegebied voldoende water aanwezig is voor een plasdras situatie (zie kaarten maaiveldskwel en grondwaterstanden). De infiltratie wordt veroorzaakt door het lage peil in het landbouwgebied ten oosten van het Apeldoorns kanaal. Dankzij de aanvoer van het water uit het westelijke deel van het natuurgebied mag echter wel verwacht worden dat het water ook hier een enigszins lithoclien karakter zal hebben.

Ondanks de peilverhoging in het natuurgebied en de bermsloten van de snelweg blijft de drooglegging van de snelweg voldoende: de grondwaterstand ligt 1,0 tot 1,4 m beneden maaiveld.

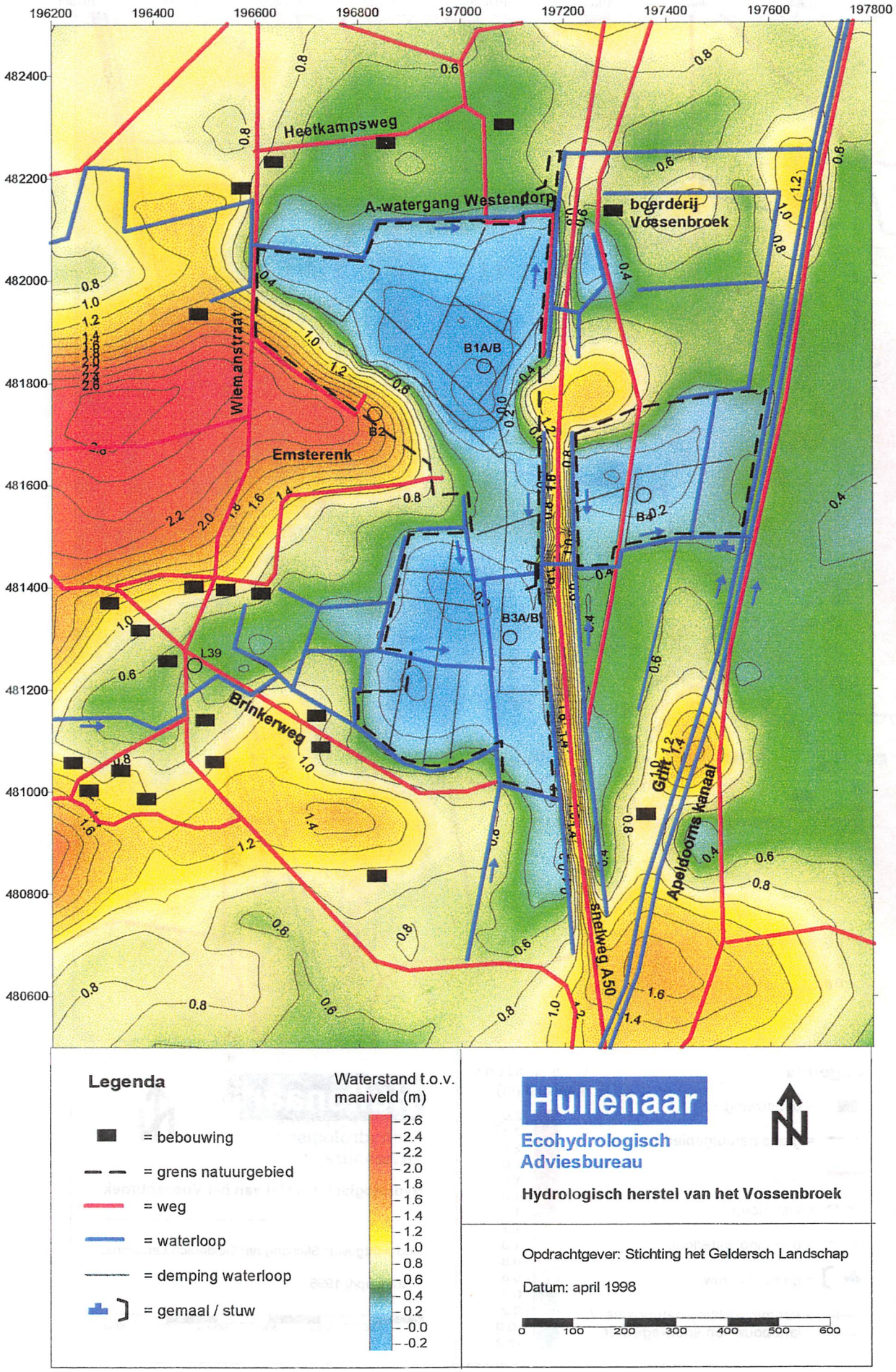
Scenario 2

Indien de laaggelegen landbouwgebieden in de omgeving van het Vossenbroek verworven worden kan in het Vossenbroek een goede hydrologische situatie gerealiseerd worden: in alle veengronden waterstanden vlak boven maaiveld, een verregaand herstel van maaiveldskwel en behoud van de kalkrijke diepe kwel in het noordelijke en zuidelijke deel van het Vossenbroek. De mogelijkheid van combinatie van waterstandsverhoging en behoud van diepe kwel mag uniek genoemd worden, en is te danken aan de gunstige natuurlijke ligging van het Vossenbroek.

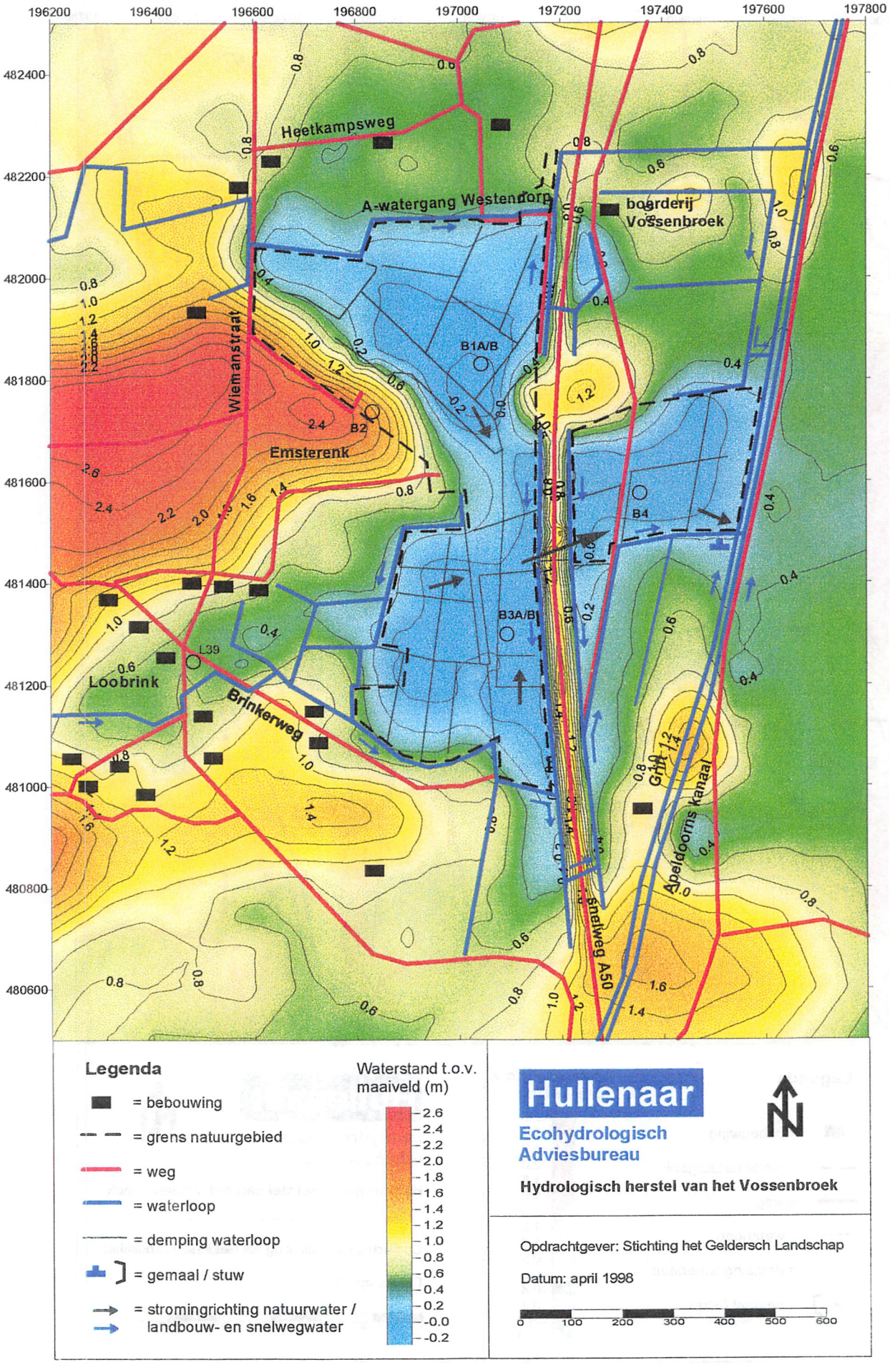
Doordat aan de zuidwestkant van het Vossenbroek sloten aanwezig blijven voor de ontwatering van de bebouwde percelen blijft in dit deel een sterke aanvoer van diepe kwel aanwezig. Hierbij moet wel een kanttekening geplaatst worden ten aanzien van het begrip diepe kwel in dit gebied. In de modellering is een natte situatie doorgerekend: hierdoor is het mogelijk dat ook in dit vrij hoog gelegen gebied sterke kwel optreedt, terwijl dat in drogere perioden veel minder het geval is. Bovendien is aangenomen dat in hooggelegen gebieden geen weerstandsbiedende Eemklei laag aanwezig is. De diepe kwelkaart geeft dus waarschijnlijk een enigszins geflatteerd beeld van de kwelsituatie in dit gebied.



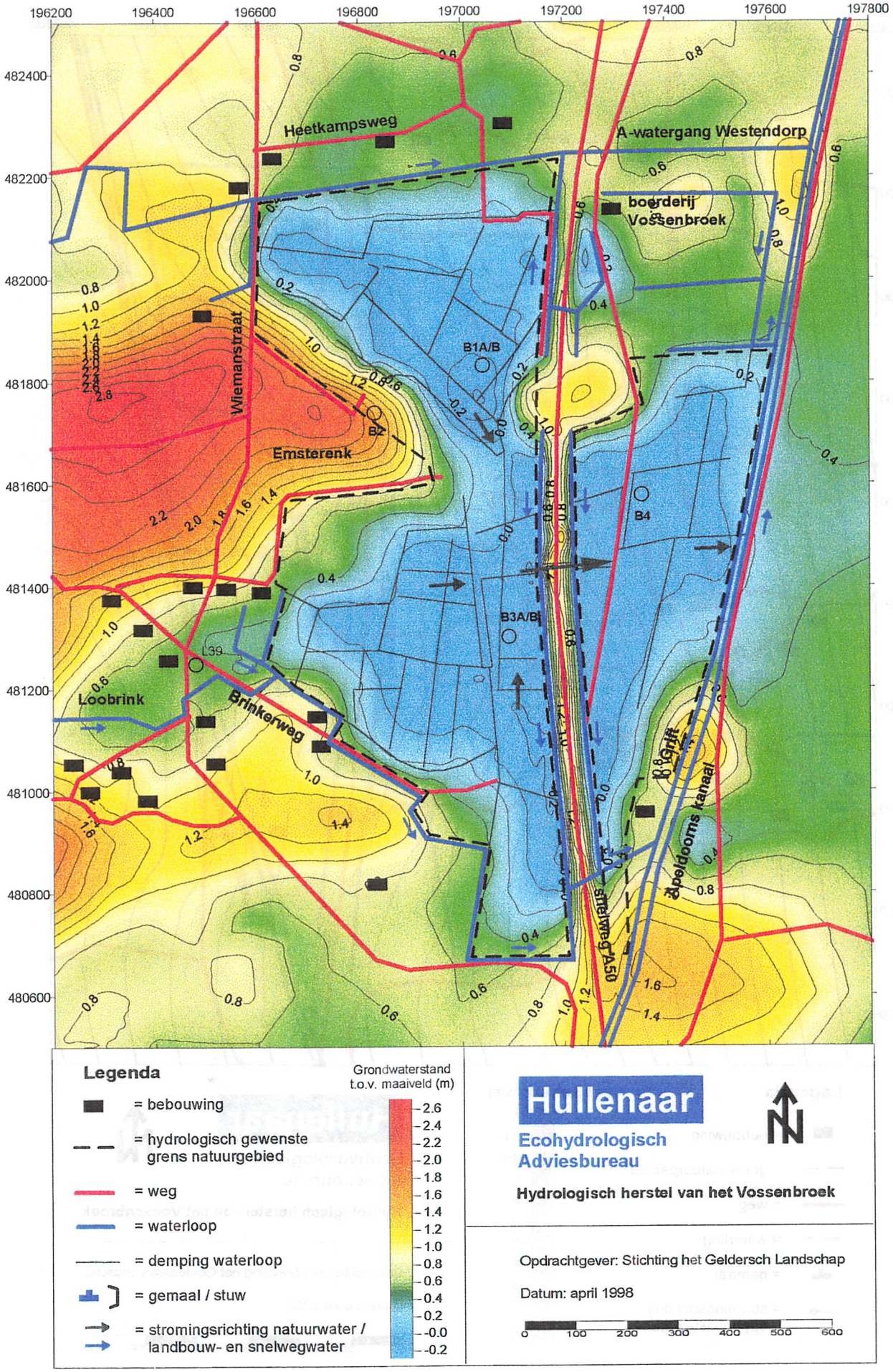
Figuur 4.3 Grondwaterstanden beneden maaiveld in de huidige situatie (scenario 0)



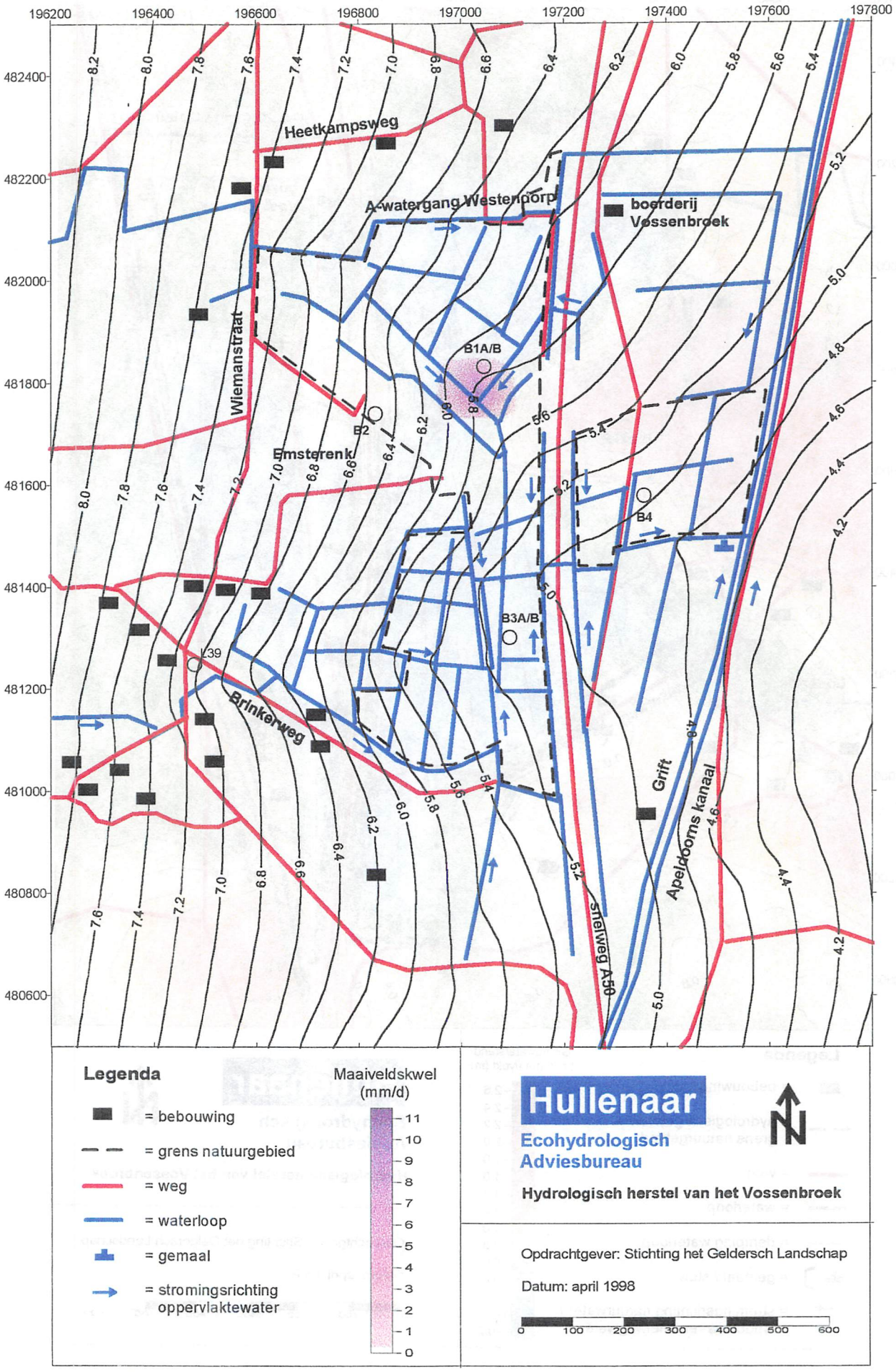
Figuur 4.4 *Grondwaterstanden beneden maaiveld bij het treffen van beperkte interne herstelmaatregelen (scenario 1A)*



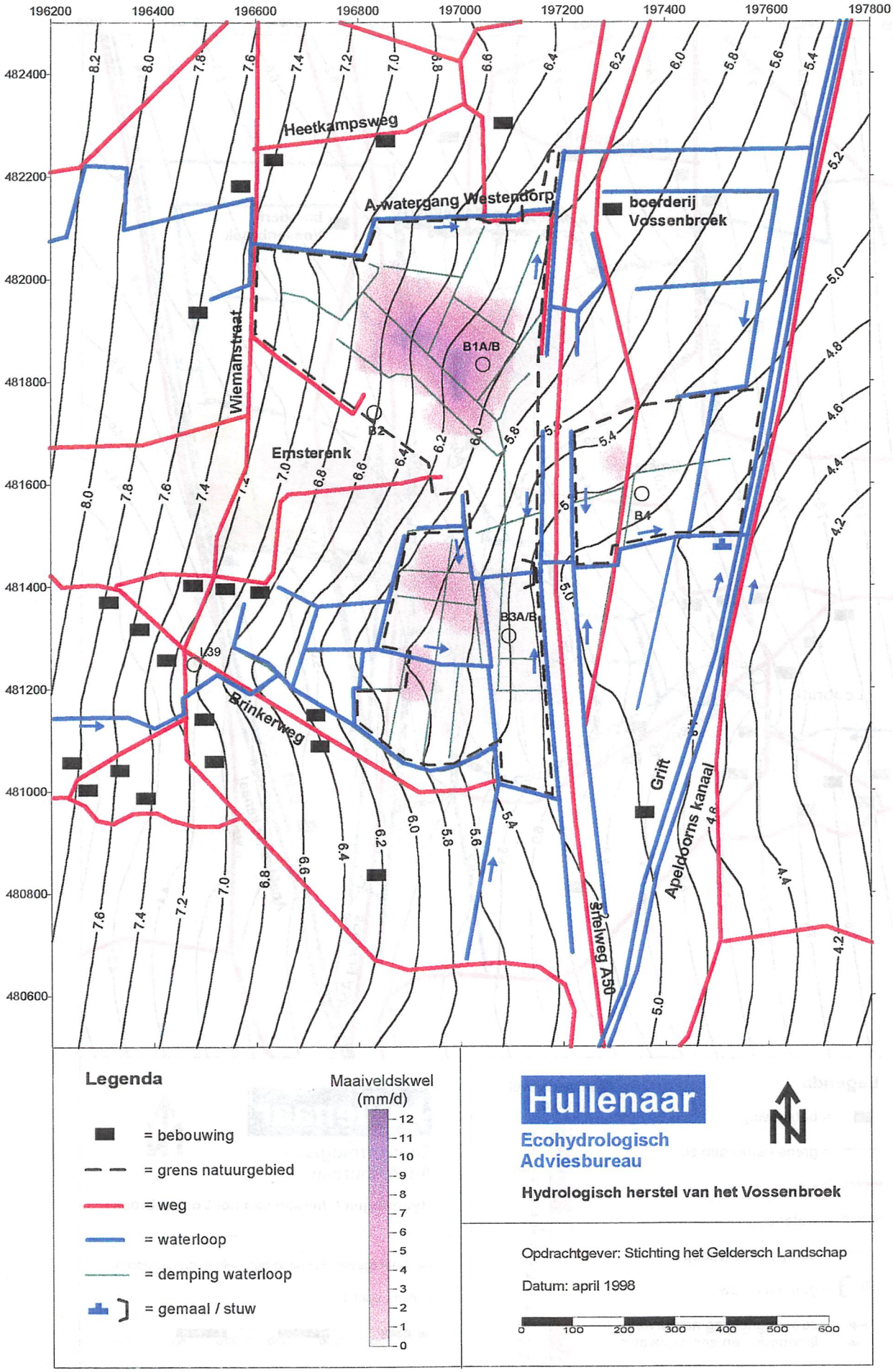
Figuur 4.5 *Grondwaterstanden beneden maaiveld bij het treffen van uitgebreide interne herstelmaatregelen (scenario 1B)*



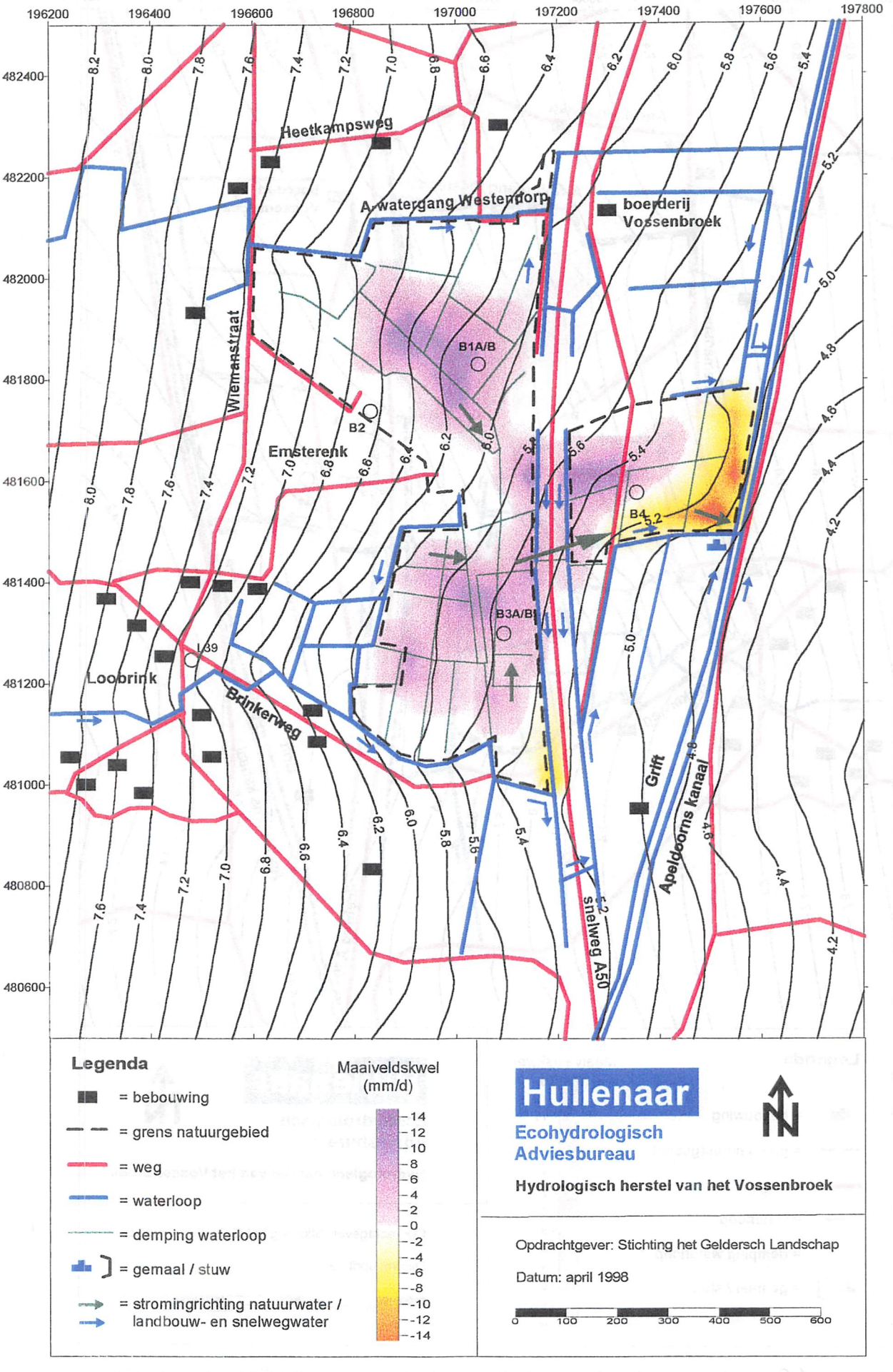
Figuur 4.6 *Grondwaterstanden beneden maaiveld bij het treffen van zowel interne als externe maatregelen (scenario 2)*



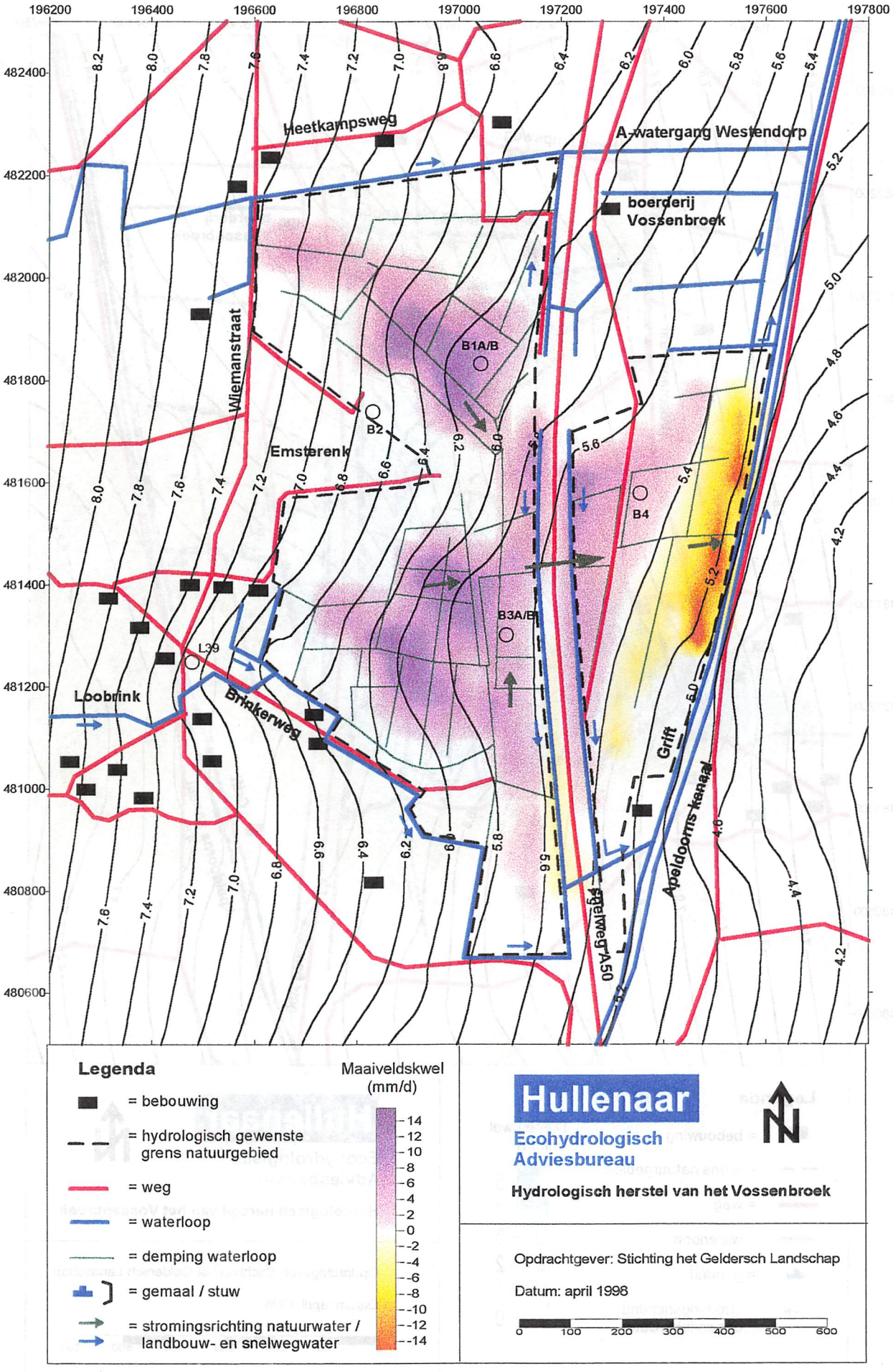
Figuur 4.7 Maaiveldskwel in de huidige situatie (scenario 0)



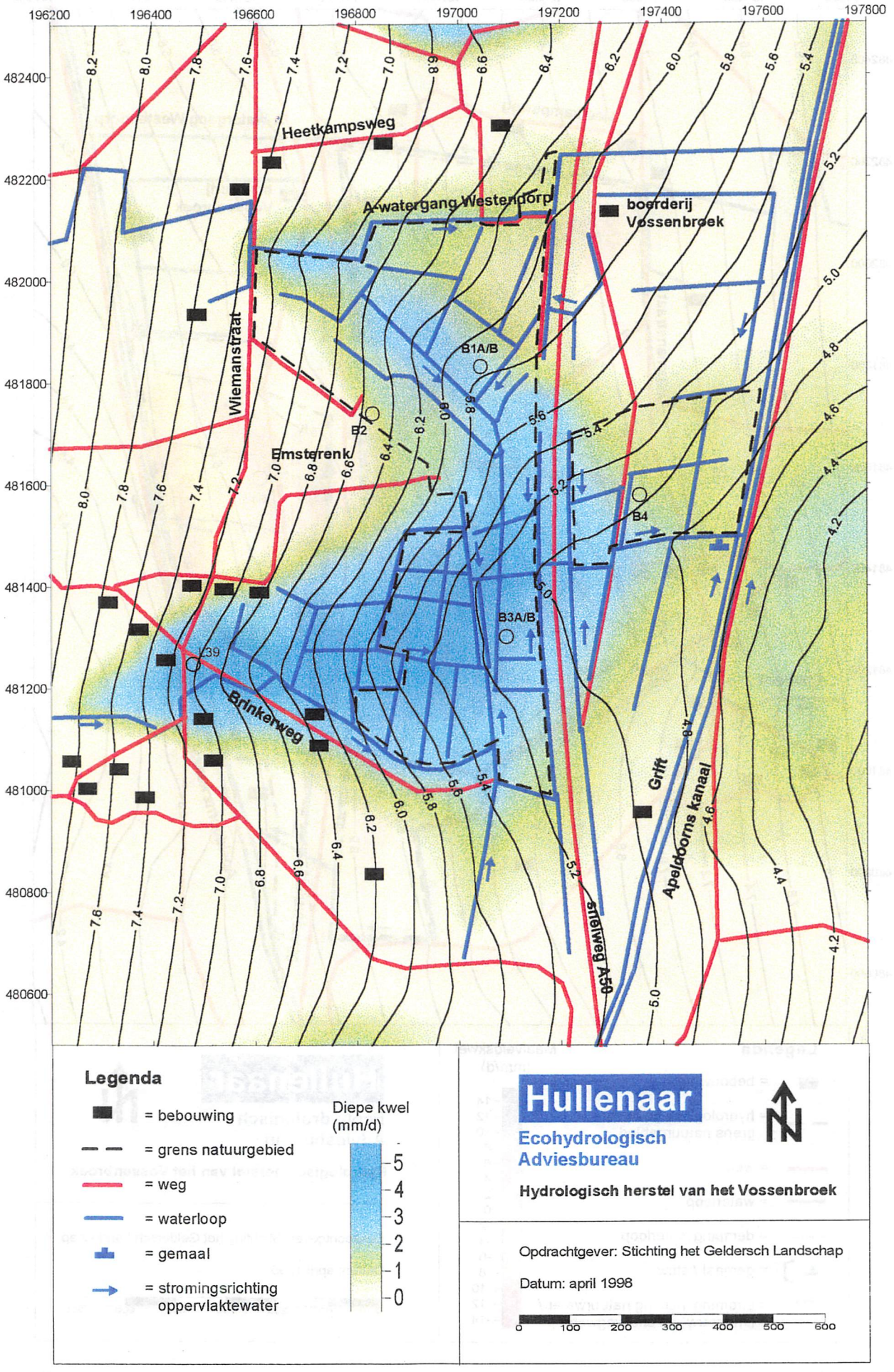
Figuur 4.9 *Maaiveldskwel en isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater bij het treffen van beperkte interne herstelmaatregelen (Scenario 1A)*



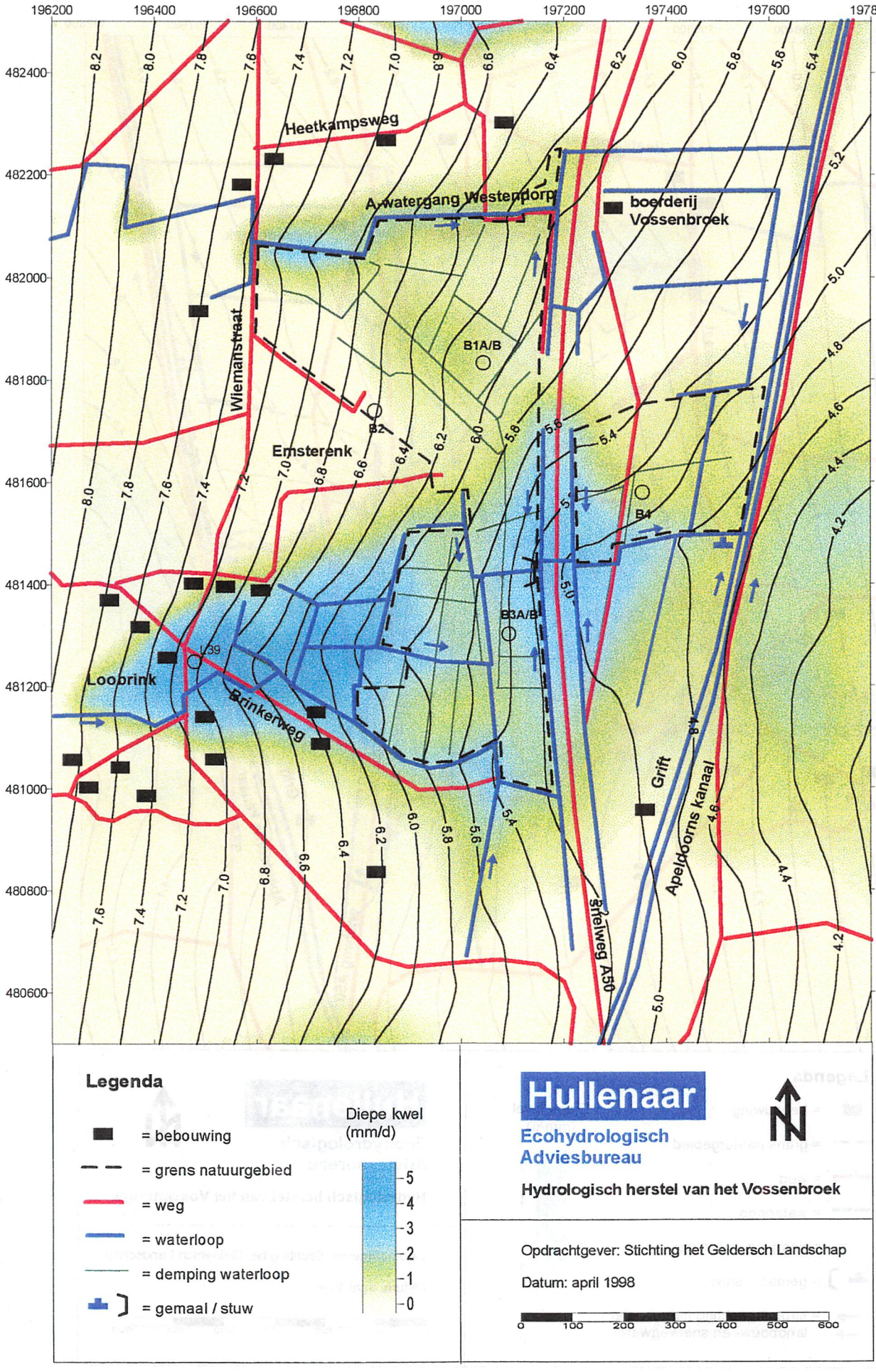
Figuur 4.9 *Maaiveldskwel en isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater bij het treffen van uitvoerige interne herstelmaatregelen (scenario 1B)*



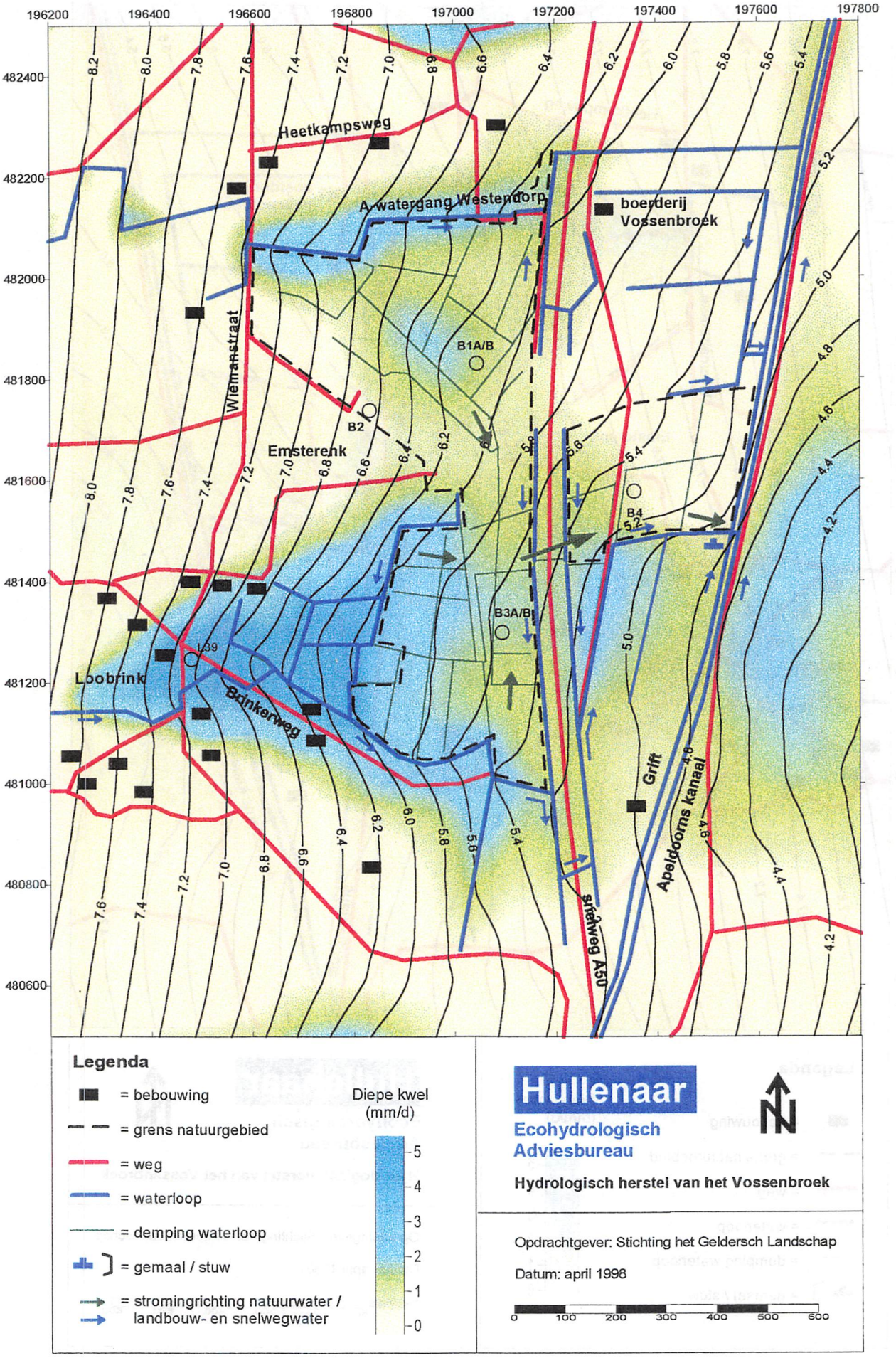
Figuur 4.10 Maaiveldskwel en isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater bij het treffen van zowel interne als externe herstelmaatregelen (scenario 2)



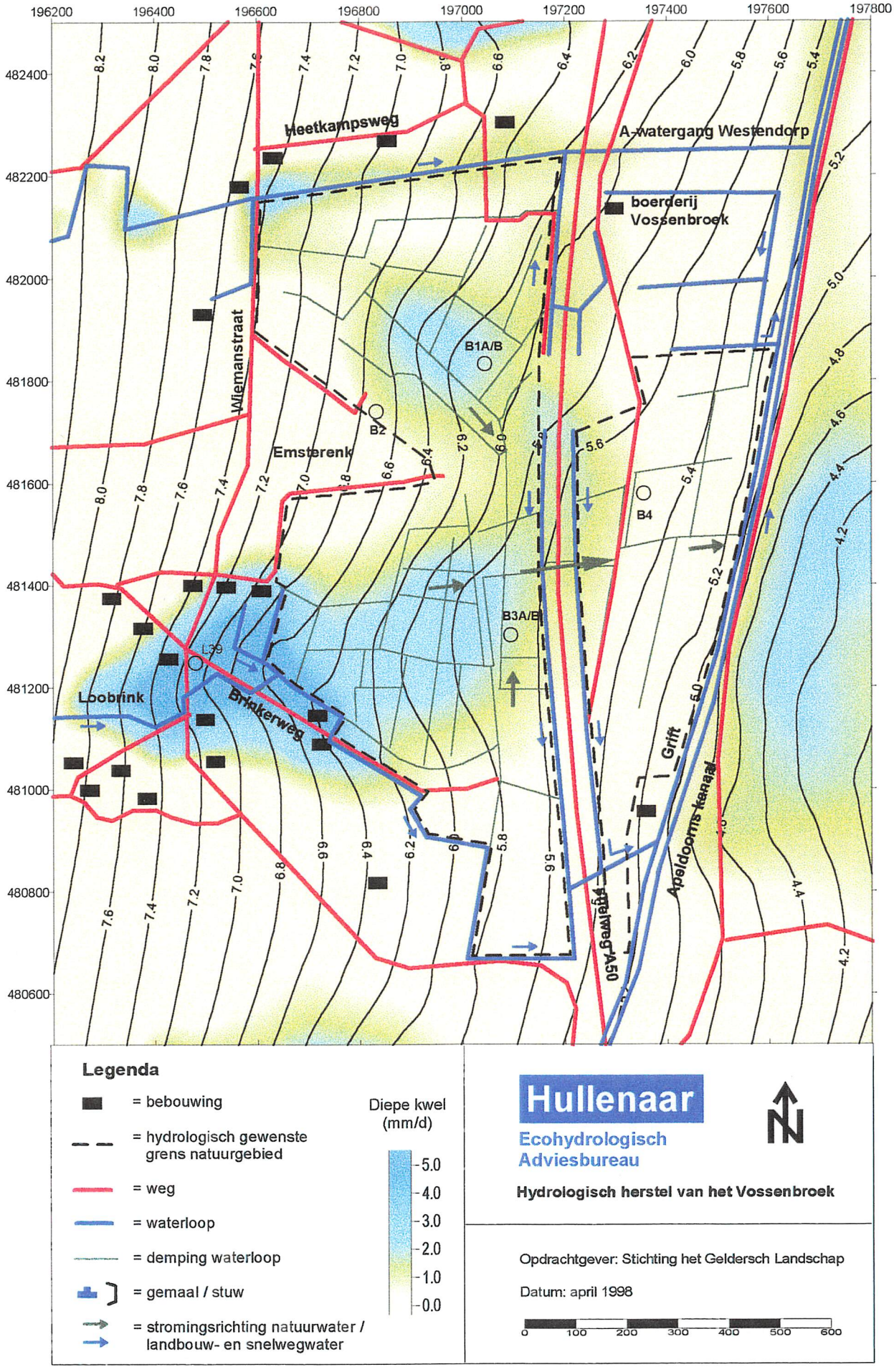
Figuur 4.11 Diepe kwel in de huidige situatie (scenario 0)



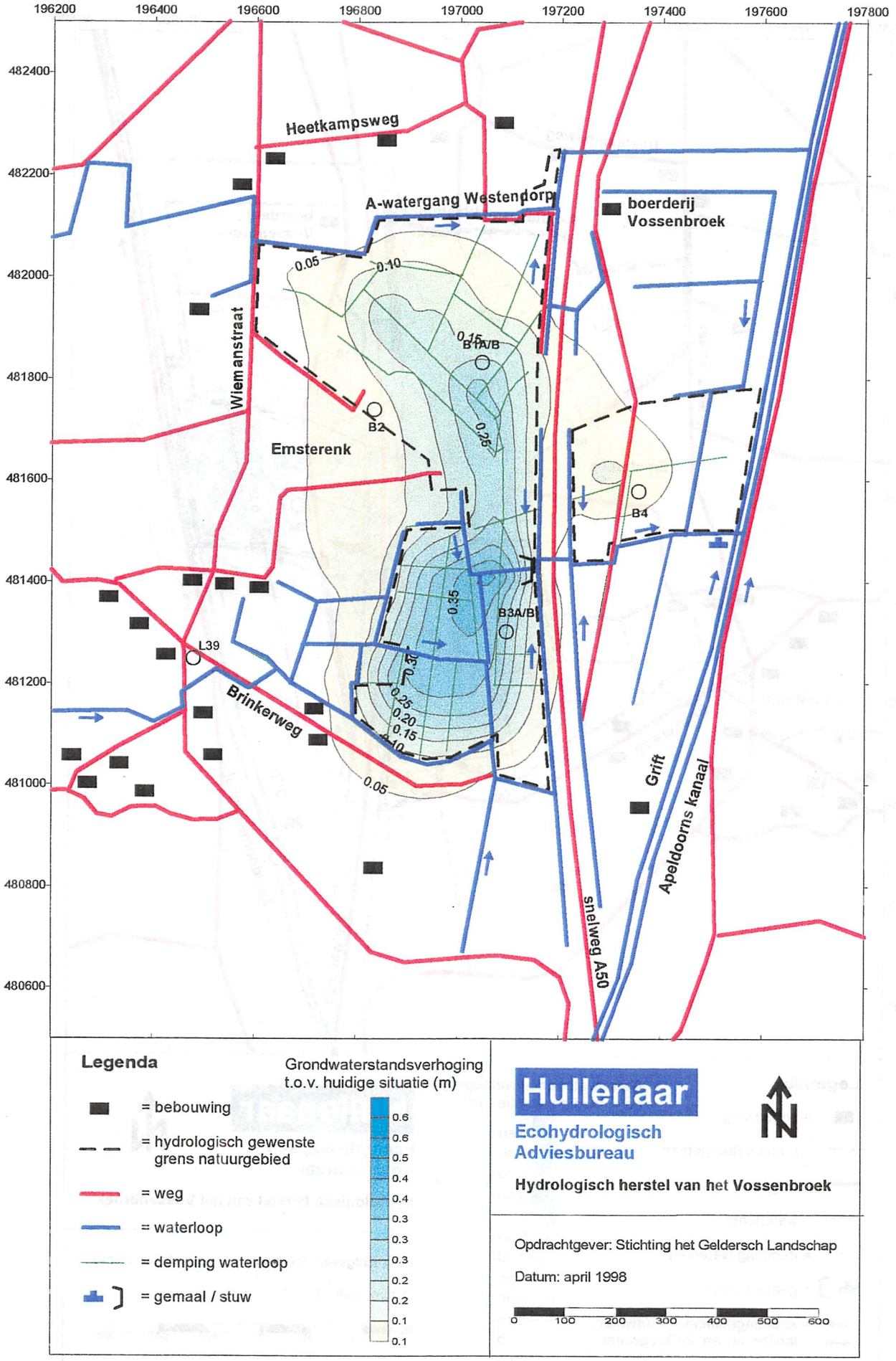
Figuur 4.12 Diepe kwel en isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater bij het treffen van beperkte interne herstelmaatregelen (scenario 1A)



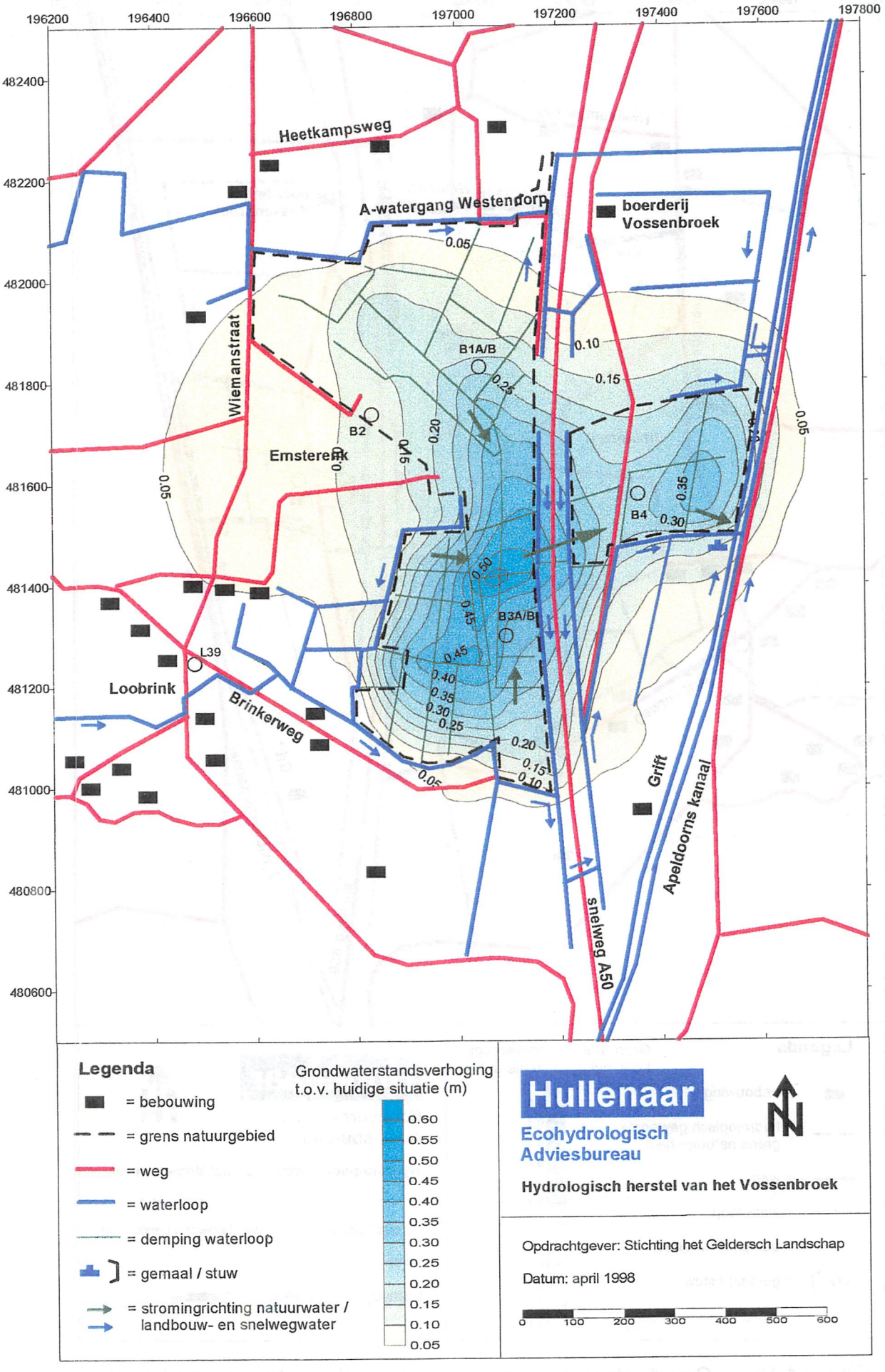
Figuur 4.13 Diepe kwel en isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater bij het treffen van uitgebreide interne herstelmaatregelen (scenario 1B)



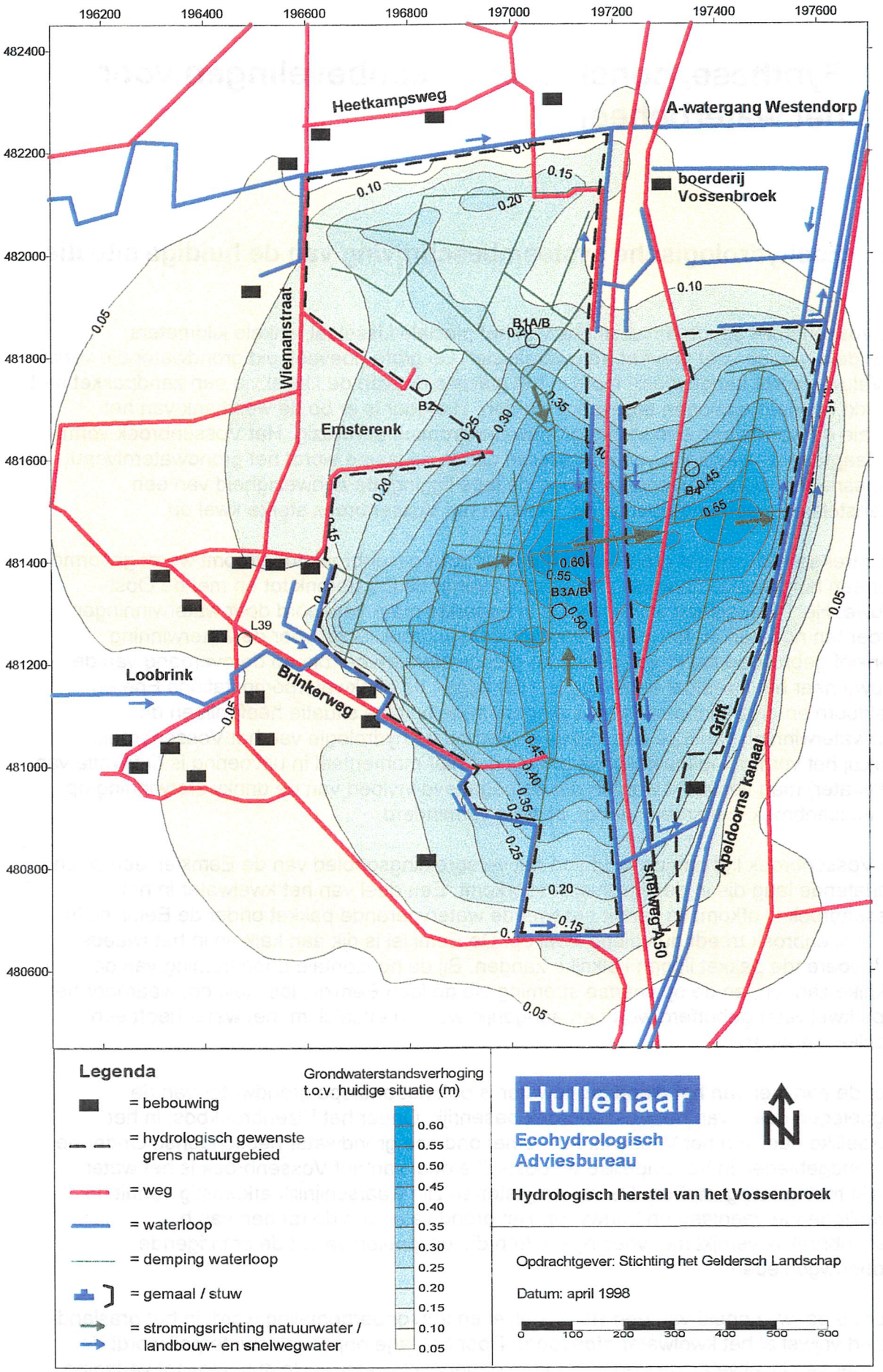
Figuur 4.14 *Diepe kwel en isohypsenpatroon van het ondiepe grondwater bij het treffen van zowel interne als externe herstelmaatregelen (scenario 2)*



Figuur 4.15 *Grondwaterstandsverhogingen t.o.v. de huidige situatie bij het treffen van beperkte interne herstelmaatregelen (Scenario 1A)*



Figuur 4.16 Grondwaterstandsverhogingen ten opzichte van de huidige situatie bij het treffen van uitgebreide interne herstelmaatregelen (scenario 1B)



Figuur 4.17 Grondwaterstandsverhogingen ten opzichte van de huidige situatie bij het treffen van zowel interne en externe herstelmaatregelen (scenario 2)

5 Synthese, conclusies en aanbevelingen voor het waterbeheer

5.1 Ecohydrologische systeembeschrijving van de huidige situatie

Het Vossenbroek ligt op de westflank van het glaciale IJsseldal, enkele kilometers verwijderd van de voet van het Veluwemassief. De grote hoeveelheid grondwater die vanaf de Veluwe wordt aangevoerd, moet in het glaciale dal van de IJssel via een zandpakket met beperkt doorlaatvermogen afgevoerd worden. Hierdoor is er op de westflank van het glaciale dal van nature een sterke grondwaterstroming aanwezig. Het Vossenbroek vormt een laagte in de westflank van het glaciale dal. In de laagte wordt het grondwaterniveau aangesneden. Door de sterke aanvoer, de lage ligging, de aanwezigheid van een slotenstelsel en een onderbemaling treedt in het Vossenbroek sterke kwel op.

Het intrekgebied van het grondwater dat naar het Vossenbroek toestroomt wordt gevormd door een langgerekte zone die zich uitstrekt vanaf de Emsterenk tot en met de Oost-Veluwe. Het intrekgebied wordt slechts in beperkte mate verstoord door waterwinningen. Verder ten noorden en ten zuiden van het Vossenbroek wordt voor de waterwinning intensief gebruik gemaakt van de sterke grondwateraanvoer die op de overgang van de Veluwe naar het IJsseldal aanwezig is. Hier liggen de drinkwaterpompstations Epe en Apeldoorn en diverse industriële winningen. In de huidige situatie heeft alleen de drinkwaterwinning van Epe een kleine invloed op de hydrologie van het Vossenbroek. Dankzij het verdrogingsbestrijdings-project dat hier momenteel in uitvoering is (infiltratie van beekwater) mag verwacht worden dat de negatieve invloed van de drinkwaterwinning op het Vossenbroek niet sterker wordt, of zelfs verminderd.

Het Vossenbroek ligt aan de rand van het verspreidingsgebied van de Eemklei, een slecht doorlatende laag die in de IJsselvallei voorkomt. Een deel van het kwelwater in het Vossenbroek is afkomstig vanuit het tweede watervoerende pakket onder de Eemklei. In het Vossenbroek treedt dus diepe kwel op. De Eemklei is rijk aan kalk en in het tweede watervoerende pakket liggen kalkrijke zanden. Bij de horizontale doorstroming van de kalkrijke zanden, en de opwaartse stroming via de laag Eemklei lost kalk op, waardoor het diepe kwelwater gebufferd wordt en aangerijkt wordt met calcium: het water heeft een lithoclien karakter.

Door de aanvoer van het diepe grondwater is ook het ondiepe grondwater van de laaggelegen delen van het Vossenbroek basenrijk. Onder het Elzenbroekbos, in het noordelijke deel van het Vossenbroek, is het ondiepe grondwater het schoonst. Onder de graslandgebieden in het zuidelijke en oostelijke deel van het Vossenbroek is het water verrijkt met voedingsstoffen. De voedingsstoffen zijn waarschijnlijk afkomstig vanuit de bovenliggende veenlaag en bouwvoor. Het grondwater aan de randen van het Vossenbroek is verrijkt met voedingsstoffen die uitspoelen vanuit de omringende landbouwgebieden.

Door de aanwezigheid van een slotenstelsel en een onderbemaling wordt in het grasland-gebied vrijwel al het kwelwater afgevoerd. Door het lage oppervlaktewaterpeil wordt de aanvoer van kwelwater versterkt. Het lage oppervlaktewaterpeil leidt tevens tot verlaging van de grondwaterstanden in het Vossenbroek: het gebied is hierdoor verdroogd. De

verdroging leidt tot veraarding en mineralisatie van de toplaag van het veen. Hierdoor verminderd de dikte van de veenlaag, daalt het maaiveldsniveau en wordt het water verrijkt met voedingsstoffen. Door de veraarding van de toplaag neemt het waterbergend vermogen van de bodem af, wat leidt tot sterkere waterstandsfluctuaties.

In het noordelijke deel is door het extensiveren van het onderhoud van de waterlopen het oppervlaktewaterpeil vrij hoog, waardoor in de laagste delen van het Elzenbroekbos het water in natte perioden tot aan het maaiveld staat, en het lithocliene grondwater plaatselijk en tijdelijk tot in de wortelzone reikt. Voor de overige delen van de noordelijke laagte is het oppervlakte-waterpeil echter nog enkele decimeters te laag voor een plasdras situatie of ondiepe inundatie.

Het Elzenbroekbos is redelijk goed ontwikkeld. Er komen soorten van het broekbos van de natte beekdalen (Elzenzegge-Elzenbroek) voor. Behalve Elzenzegge zijn soorten als Zwarte bes, Stijve zegge, Blaaszegge en Gele lis aanwezig. De dominante aanwezigheid van Hennegras en het voorkomen van een soort als Framboos duiden echter op een beperkte verdroging. In het zuidwestelijke deel is Moeraszegge dominant aanwezig. Het betreft de rompgemeenschap van het broekbos van kwelrijke beekdalen, het Veldkers-Elzenbroek. In de kwelsloten zijn elementen aanwezig van het Veldkers-Elzenbroek: Bittere veldkers afgewisseld met Moeraszegge, Beekpunge, Dotterbloem en Holpijp.

De snelweg die het natuurgebied doorkruist ligt op een hoog zandcunet, en heeft in de laaggelegen delen van het Vossenbroek aan weerszijden bermsloten. In het noordelijke deel is het peil in de bermsloten hoog. Door de aanwezigheid van het zandcunet heeft de snelweg ondanks het hoge peil een voldoende grote drooglegging (grondwaterstand 0,8 tot 1,0 m beneden maaiveld). In het zuidelijke deel is het waterpeil in de bermsloten laag, en het zandcunet steekt verder boven zijn omgeving uit. De snelweg heeft hier een zeer grote drooglegging (grondwaterstand van 1,4 tot 1,8 m beneden maaiveld).

5.2 Herstelmaatregelen

Aansluitend op de conclusies ten aanzien van de gewenste herstelmaatregelen wordt in deze paragraaf ook een verdere uitwerking van de gewenste maatregelen gegeven. Op deze manier kan bij de verdere planuitwerking en uitvoering optimaal gebruik gemaakt worden van de resultaten van dit onderzoek.

Het meest verregaande hydrologisch herstel wordt gerealiseerd door het treffen van zowel interne als externe maatregelen. Dit pakket maatregelen vormt dan ook het einddoel voor de hydrologische inrichting van het Vossenbroek en omgeving. Alvorens hier dieper op in te gaan worden eerst de hydrologische maatregelen aangegeven die al op korte termijn uitgevoerd kunnen worden (paragraaf 5.2.1). De gewenste hydrologische maatregelen op lange termijn in de eindsituatie worden behandeld in paragraaf 5.2.2. Hierbij worden tevens de te verwachten effecten op de natte natuurwaarden van het Vossenbroek beschreven. Behalve de hydrologische maatregelen is het ook gewenst aanvullende herstelmaatregelen te treffen. Deze maatregelen worden besproken in paragraaf 5.2.3.

5.2.1 Ecohydrologisch herstel op de korte termijn

In de huidige eigendomssituatie kunnen op korte termijn al een aantal hydrologische herstelmaatregelen genomen worden. Maatregelen ten behoeve van herstel van het noordelijke gedeelte van het Vossenbroek zijn op eenvoudige wijze te verwezenlijken: zij kunnen uitgevoerd worden als de eerste fase van de herstelmaatregelen op korte termijn (figuur 5.1). De maatregelen ten behoeve van het zuidelijke en oostelijke deel van het Vossenbroek zijn gecompliceerder: zij kunnen uitgevoerd worden in een tweede fase van de maatregelen op korte termijn (figuur 5.2).

Eerste fase (figuur 5.1)

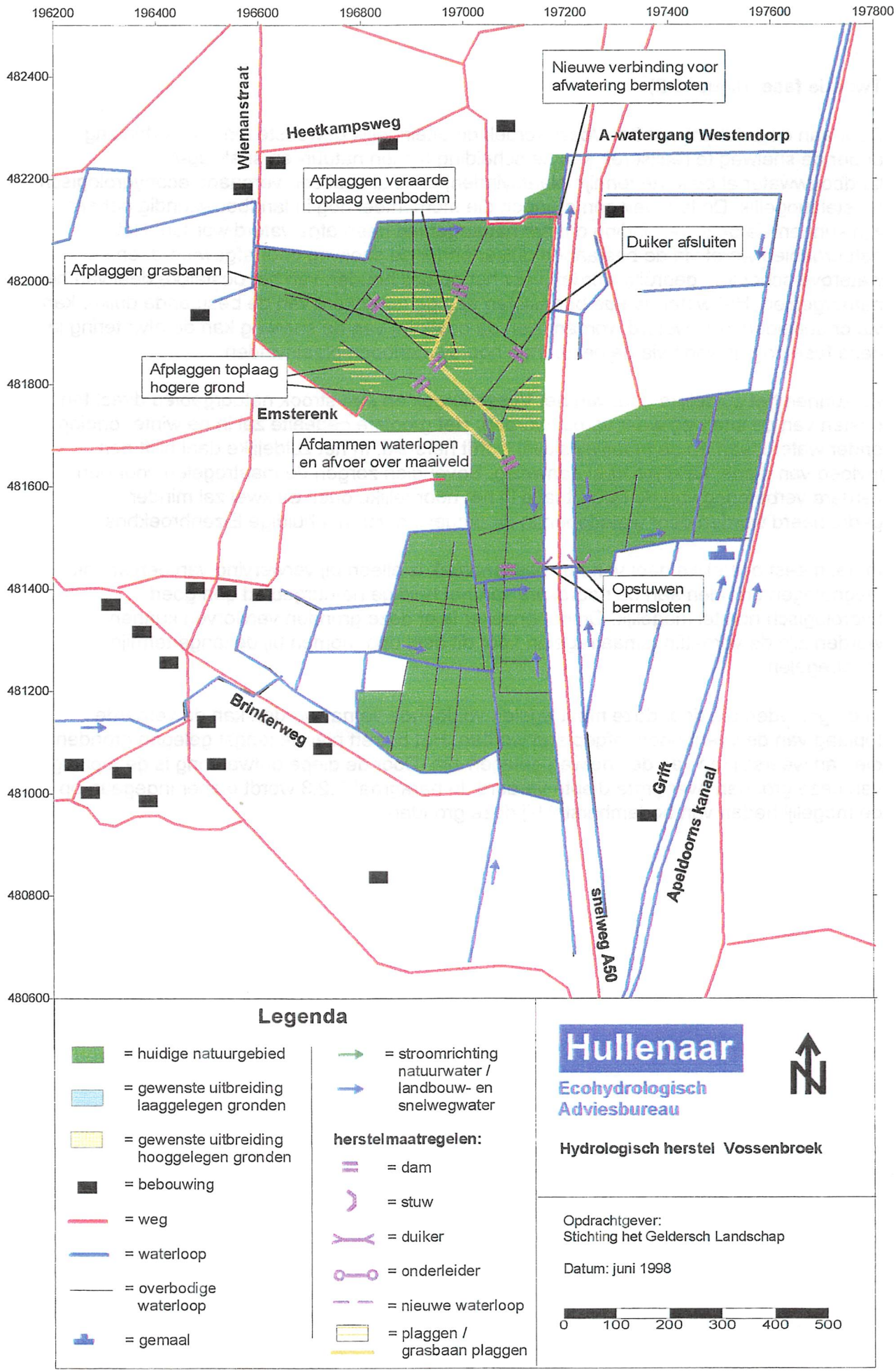
In het noordelijke deel van het Vossenbroek kunnen op eenvoudige wijze al de eerste herstelmaatregelen getroffen worden. Het betreft het afdammen van sloten en het afkoppelen van de afwatering van de noordelijke bermsloten van de snelweg. Het is gewenst de bermsloten af te wateren op de A-watergang Westendorp. De mogelijkheid hiertoe dient nader onderzocht te worden. Verder kunnen in het aangrenzende zuidelijke deel al maatregelen getroffen worden die van belang zijn voor de bestrijding van de verdroging in het noordelijke deel. Ten eerste kan de afwateringssloot van het Elzenbroek afgedamd worden, en ten tweede kunnen de noordelijke trajecten van de zuidelijke bermsloten al opgestuwd worden. Door de peilverhoging ontstaat aan de zuidkant van het Elzenbroekbos al snel een goede hydrologische bufferzone, wat gunstig is voor de kwelsituatie in het Elzenbroek. Aangezien er in de eindsituatie voor de bermsloten van de snelweg onderleiders gewenst zijn, hoeven voor de stuwen slechts tijdelijke constructies vervaardigd te worden.

Door uitvoering van deze herstelmaatregelen kan het hele Elzenbroekbos in winter en voorjaar ondiep geïnundeerd worden. De maaiveldskwel wordt hersteld, en in de zomer zakt de waterstand niet ver weg. Het veraardingsproces van de toplaag van het veen wordt beëindigd, en de veenvorming kan weer op gang komen. De huidige vergrassing en verruiging van het Elzenbroekbros kan teruggedrongen worden, en soorten van het Elzenzegge-Elzenbroek krijgen de kans zich uit te breiden.

In het gedeelte van de voormalige landbouwgronden die door de hydrologische herstelmaatregelen van de eerste fase al voldoende vernat worden, kan de veraarde toplaag van het veen afgeplagd worden. Ook de veraarde toplaag van de grasbanen in het Elzenbroek kan afgeplagd worden. In de subparagraaf bodemherstel (paragraaf 5.2.3) wordt dieper ingegaan op de voor- en nadelen van het plaggen van de veengronden.

De grasbanen liggen dwars op de helling van de komvormige laagte. Bij het plaggen moet voorkomen worden dat de geplagde strook gaat fungeren als ondiepe ontwateringsloop. Om ontwatering te voorkomen dienen daarom om de 25 à 50 meter stroken van de grasbaan ongemoeid te blijven: deze ongeplagde stroken kunnen zo dient doen als kleine dammetjes.

Verder kan ook de met voedingsstoffen verrijkte toplaag van de graslanden op de hogere gronden afgeplagd worden, zodat hier goede ontwikkelingsmogelijkheden ontstaan voor bosgemeenschappen van het Eiken-verbond. Omdat deze gronden in het infiltratiegebied van het Elzenbroek liggen kan deze maatregel eveneens bijdragen aan een verbetering van de kwaliteit van het lokale kwelwater.



Figuur 5.1 Gewenste hydrologische maatregelen op de korte termijn, fase 1

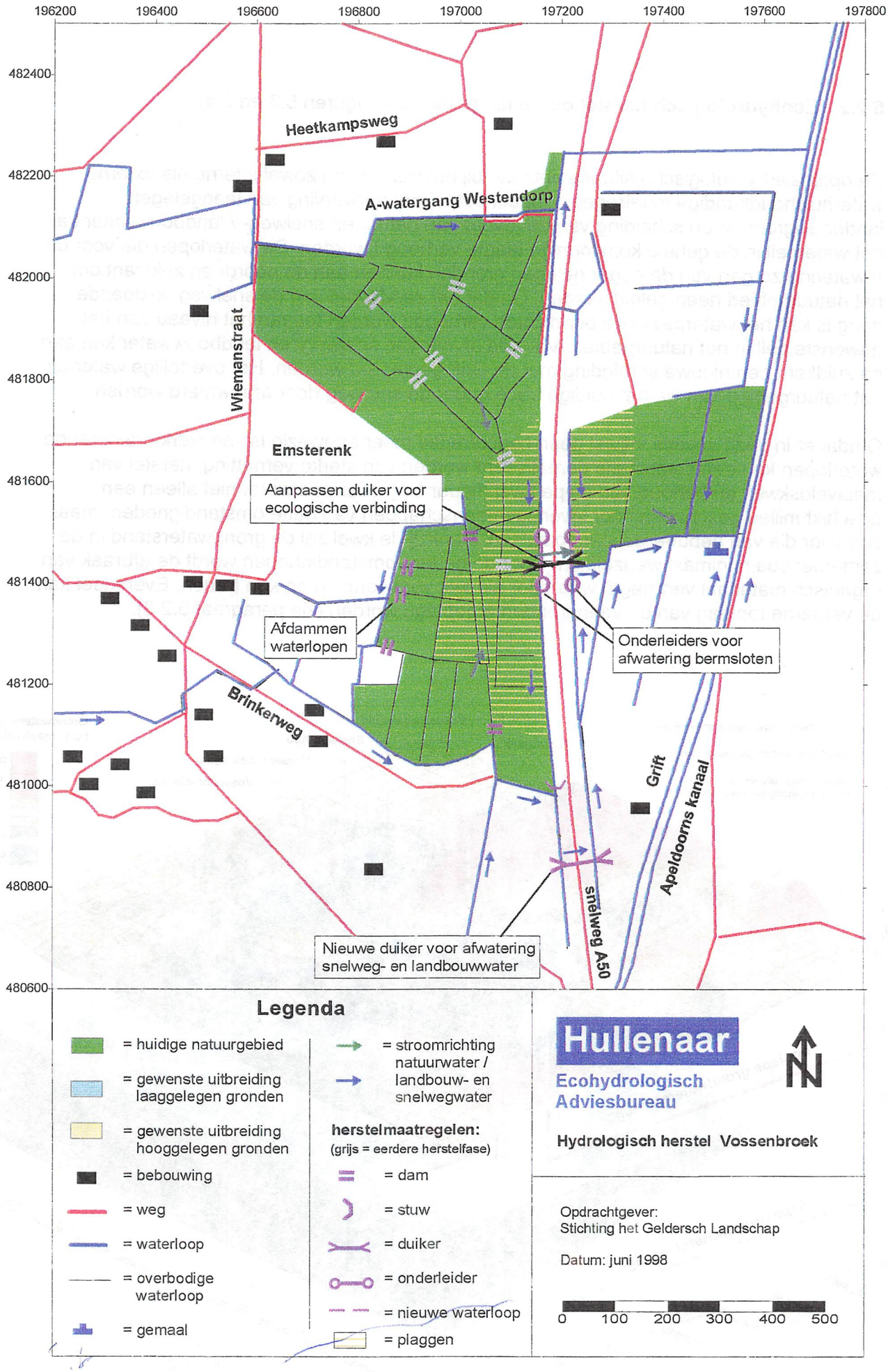
Tweede fase (figuur 5.2)

Door aan de zuidkant van het Vossenbroek de uiteindelijk gewenste nieuwe verbinding onder de snelweg te realiseren kan de scheiding tussen natuur- en snelweg-/ landbouwwater al op korte termijn plaatsvinden, en is al snel een vergaand ecohydrologisch herstel mogelijk. De laaggelegen gronden die momenteel nog in landbouwkundig beheer zijn kunnen via deze verbinding om het natuurgebied heen afgewaterd worden. Het natuurgebied wordt via de bestaande duiker onder de snelweg door afgewaterd, en het wateroverschot kan gebruikt worden voor het op peil houden van het oostelijke deel van het natuurgebied. Het water van de bermsloten aan de noordkant van de bestaande duiker kan via onderleiders afgewaterd worden. Aan de oostkant van de snelweg kan de afwatering in deze fase nog gewoon via de bestaande hoofdwaterlopen plaatsvinden.

Zo kunnen het zuidelijke deel van het Vossenbroek en een strook natuurgebied direct ten oosten van de snelweg weer vernat worden. Het grootste gedeelte zal in de winter ondiep onder water staan en de maaiveldskwel wordt hersteld. In het zuidelijke deel blijft een invloed van diepe, kalkrijke kwel aanwezig. Bovendien zorgen de maatregelen voor een verdere verbetering van de kwelsituatie in het noordelijke deel: de kwel zal minder gedraineerd worden door waterlopen in de omgeving van het huidige Elzenbroekbos.

In het meest oostelijke deel van het Vossenbroek is alleen bij verwerving van een strook laaggelegen gronden aan de noordkant van het huidige natuurgebied een goed hydrologisch herstel mogelijk. Omdat onzeker is of deze gronden verworven kunnen worden zijn de vernattingsmaatregelen voor dit deel opgenomen bij de lange termijn maatregelen.

In de gebieden die door deze maatregelen voldoende vernat worden kan de veraarde toplaag van de veenbodem afgeplagd worden. Het betreft hier de laagst gelegen gronden die aan weerszijden van de snelweg gelegen zijn. Door de diepe ontwatering is de toplaag van deze gronden over grote diepte veraard. In paragraaf 5.2.3 wordt dieper ingegaan op de mogelijkheden van bodemherstel bij deze gronden.

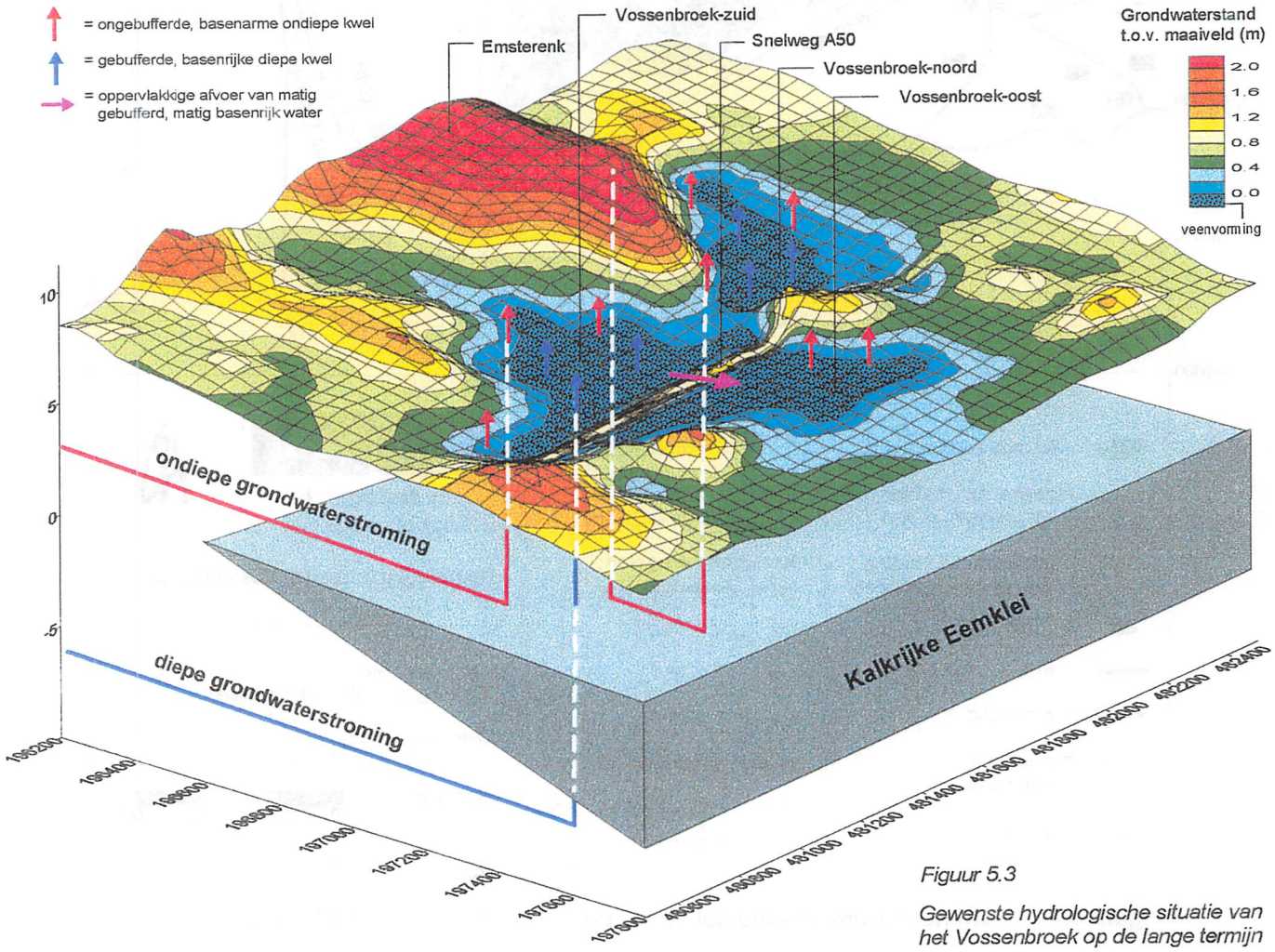


Figuur 5.2 Gewenste hydrologische herstelmaatregelen op de korte termijn, fase 2

5.2.2 Ecohydrologisch herstel op de lange termijn (figuren 5.3 en 5.4)

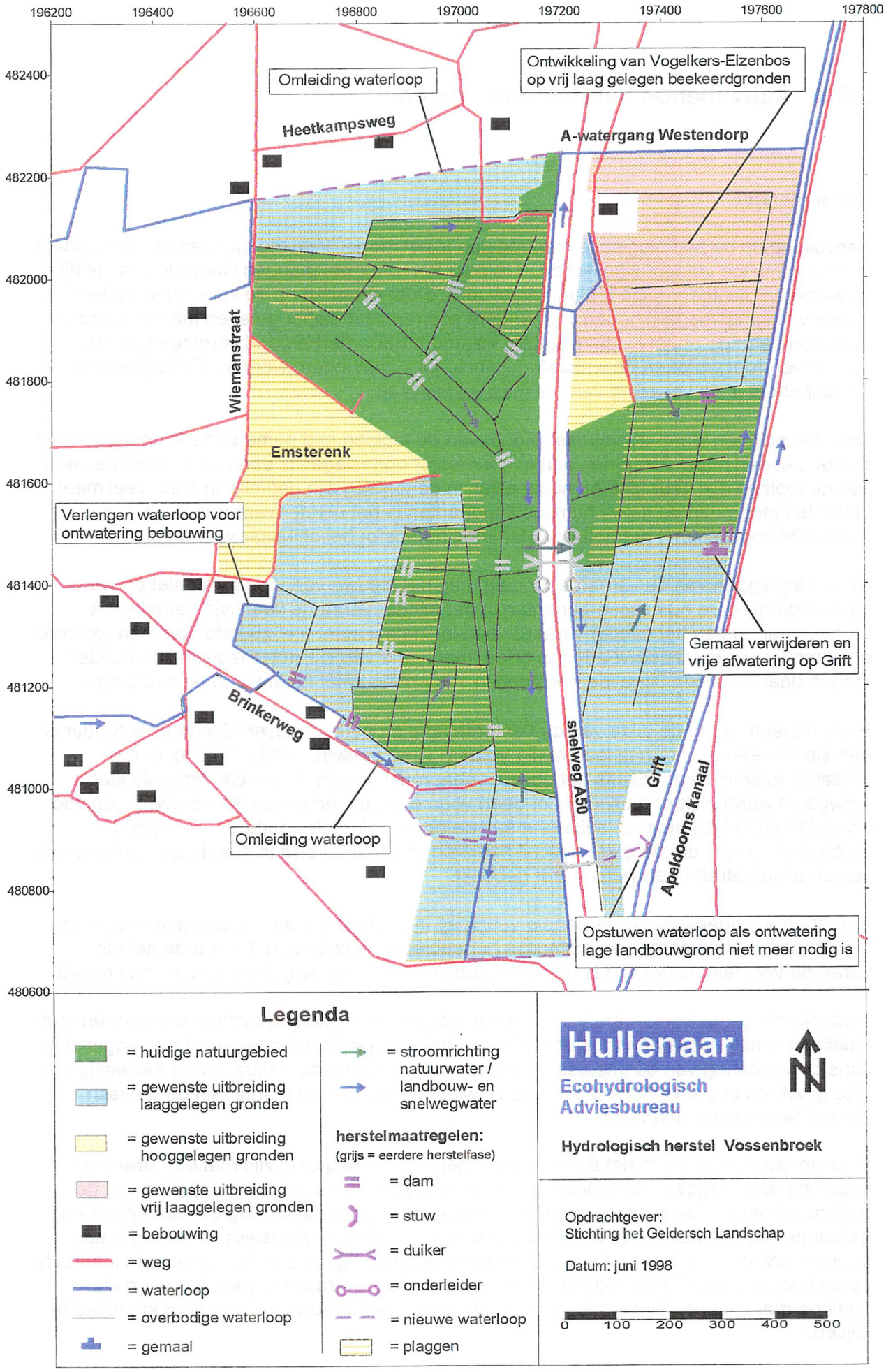
De optimale hydrologische situatie ontstaat bij het treffen van zowel interne als externe waterhuishoudkundige maatregelen (figuur 5.4). Door verwerving van laaggelegen landbouwgronden en scheiding van de afvoer van natuur en snelweg- / landbouwwater kan het waterpeil in de gehele komvormige laagte verhoogd worden. De waterlopen die voor de afwatering zorgen van de hoger gelegen gronden kunnen aan de noord- en zuidkant om het natuurgebied heen geleid worden. Omdat het zandcunet van de snelweg voldoende hoog is kan het waterpeil in de bermsloten verhoogd worden tot aan het niveau van het gewenste peil in het natuurgebied. Voor de afvoer van snelweg- en landbouwwater kan aan de zuidkant een nieuwe verbinding met de Grift gecreëerd worden. Het overtollige water uit het natuurgebied kan via het huidige tracé onder de snelweg door afgewaterd worden.

Omdat er in deze situatie vrijwel geen concurrentie meer aanwezig is van sterk drainerende waterlopen kan een combinatie gerealiseerd worden van sterke vernatting, herstel van maaiveldskwel en behoud van diepe kwel (figuur 5.3). Hiermee wordt niet alleen een geschikt milieu geschapen voor levensgemeenschappen van natte omstandigheden, maar ook voor die van gebufferde standplaatsen. Dankzij de kwel zal de grondwaterstand in de zomerperiode minimaal wegzakken. Door de nattere omstandigheden wordt de afbraak van organisch materiaal vertraagd, waardoor nieuwe veenvorming op kan treden. Eventueel kan de veraarde toplaag van de veengronden afgeplagd worden (zie paragraaf 5.2.3).



Figuur 5.3

Gewenste hydrologische situatie van het Vossenbroek op de lange termijn



Figuur 5.4 Gewenste hydrologische herstelmaatregelen op de lange termijn

5.2.3 Aanvullende herstelmaatregelen

Bodemherstel

Aanvullend op de hydrologische maatregelen is het mogelijk de toplaag van de veenbodem in de voormalige landbouwgebieden af te plaggen. Door het plaggen wordt de voedselrijke, veraarde en dichtbegroeide toplaag afgevoerd, en er ontstaan op de kale, natte bodem goede vestigingsmogelijkheden voor andere soorten. Het dieper gelegen minder veraarde veen komt aan de oppervlakte te liggen, waardoor het waterbergend vermogen van de bodem vergroot wordt en de waterstandsfluctuaties verminderd worden. Een bijkomend positief effect is de verlaging van het maaiveldsniveau.

Door het plaggen wordt de voedselrijkdom van de toplaag met name beperkt doordat in het dieper gelegen matig veraarde veen minder fosfor opgeslagen is dan in het veraarde veen van de toplaag. De zeer fijne humusdeeltjes in de toplaag zijn namelijk in staat veel meer fosfor te binden dan de grove humuscomponenten in het minder veraarde veen. Via evenwichtsreacties met het bodemwater komt het fosfor beschikbaar voor de planten.

Na het afplaggen van de veraarde toplaag mag het nieuwe veenoppervlak niet opnieuw sterk uitdrogen. De humuscomponenten in het minder veraarde veen zijn gemakkelijk afbreekbaar. Indien het minder veraard veen in contact komt met zuurstof kan een explosie ontstaan van vrijkomende voedingsstoffen, met name van stikstof. Plagwerkzaamheden mogen daarom alleen uitgevoerd worden in samenhang met herstel van de hydrologie.

Een probleem is dat de dikte van de veraarde laag groot is (ongeveer 35 cm). Hieronder is een slechts een zeer dunne laag matig veraard veen aanwezig (10 à 20 cm), of de veraarde toplaag beslaat zelfs het gehele veenprofiel. Indien de gehele veraarde laag verwijderd wordt blijft er nauwelijks of geen veen over. Indien alleen de toplaag afgeplagd wordt (10 cm) blijft hetzelfde substraat aan de oppervlakte als voorheen. Een groot probleem hierbij is dat de grote beschikbaarheid van fosfaat blijft in stand blijft, zodat er wat verschraling betreft geen winst wordt geboekt.

Een andere mogelijkheid is de gehele veenlaag intact te laten, en middels een overgangsbeheer door het afvoeren van biomassa het gebied te verschralen. Omdat de gehele veraarde veenlaag beworteld is wordt het substraat zo over de gehele diepte verschraald.

Ondanks de gedeeltelijke veraarding van de bovenlaag en de dominantie van grassen in de kruidlaag is het niet gewenst de bovenlaag in het huidige Elzenbroekbos af te plaggen. De kans op verstoring van de interessante soorten die in de huidige situatie nog aanwezig zijn is te groot, en bij peilverhoging is het te verwachten dat de dominante van de grassen vanzelf teruggedrongen wordt.

Voor de grasbanen die in het Elzenbroek liggen, en die begroeid zijn met een Brandnetelvegetatie, kan plaggen wel overwogen worden. Gezien de hoge voedselrijkdom van de bodem zal het zonder plagwerkzaamheden lang duren voordat de ruigtekruiden hier terug gedrongen zijn. Indien het zeer voedselrijke karakter slechts plaatselijk aanwezig is kan plaggen achterwege blijven. De voedselrijke grasbanen liggen over het algemeen loodrecht op de hoogtelijnen. Om te voorkomen dat de afgeplagde grasbaan gaat fungeren als ondiepe drain, dienen bij het plaggen van de grasbanen regelmatig stroken ongemoeid te blijven.

Alvorens over te gaan tot het afplaggen van de toplaag wordt aanbevolen een aanvullend bodemonderzoek te verrichten naar de mogelijkheden en beperkingen van het plaggen. Vragen die hierbij beantwoord moeten worden zijn:

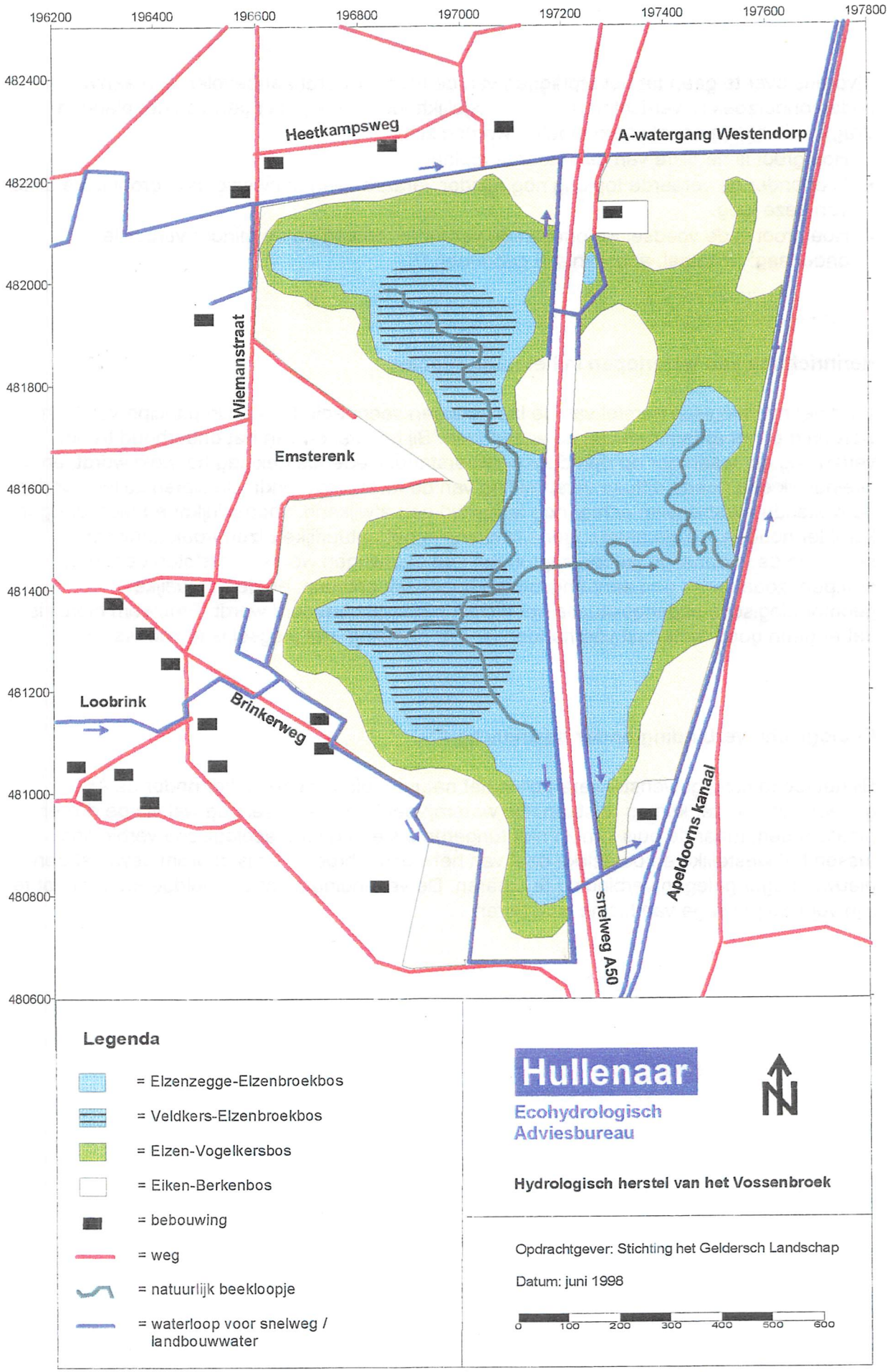
- Hoe groot is de dikte van de veraarde toplaag.
- Is er onder de veraarde toplaag nog minder veraard veen aanwezig, hoe groot is de dikte van deze laag.
- Hoe groot is de voedselrijkdom van de veraarde toplaag en de minder veraarde onderlaag: (P-totaal, anorganisch gebonden P).

Herinrichting van waterlopen in het natuurgebied

Voor het hydrologisch herstel van de laaggelegen veengebieden kan in principe volstaan worden met het afdammen van de waterlopen. Bij het staken van het onderhoud treedt verlanding op, waardoor op den duur de weerstandsbiedende deklaag hersteld wordt, en er uiteindelijk een goede diffuse verspreiding van de kwel plaatsvindt. De sloten zullen zonder aanvullende maatregelen echter nog lange tijd een afwijkend, voedselrijker en moerassiger karakter houden, en als antropogene littekens in het natuurlijke Elzenbroek aanwezig blijven. In de voormalige landbouwgronden kan overwogen worden de sloten geheel te dempen, zodat gelijk een aaneengesloten oppervlak ontstaat, en de natuurlijke geomorfologische uitgangssituatie het dichtst mogelijk benaderd wordt. Probleem hierbij is dat er geen goed materiaal voorhanden is voor demping: het plagsel is te voedselrijk.

Ecologische verbinding onder de snelweg A50

Bij het toekomstig gewenste waterpeil in het natuurgebied zal de duiker onder de A50 geheel onder water komen te staan. De waterafvoer kan eventueel nog wel via de duiker plaatsvinden, maar de buis kan zo niet fungeren als een goede ecologische verbinding tussen het westelijke en oostelijke deel van het Vossenbroek. Het is daarom gewenst een nieuwe, hoger gelegen verbinding te creëren. De verbinding dient van voldoende formaat te zijn voor de passage van kleine landdieren.



Figuur 5.5 Ontwikkelingsmogelijkheden voor verschillende bostypen na uitvoering van de hydrologische herstelmaatregelen.

5.3 Ontwikkelingsmogelijkheden voor vegetaties op de lange termijn

In figuur 5.5 zijn de ontwikkelingsmogelijkheden voor verschillende bostypen aangegeven, die in het Vossenbroek bij uitvoering van alle herstelmaatregelen gerealiseerd kunnen worden. Na uitvoering van de hydrologische herstelmaatregelen kan in de lage, natte delen het Elzenzegge-Elzenbroek zich herstellen. Als typische bosplant van het Elzenbroek in de beekdalen kan de Elzenzegge zich weer op vele plekken aan de voet van Elzen of op de horsten van de Stijve zegge pollen vestigen. Diverse soorten mossen en kruiden als Pinksterbloem vinden hier ook een geschikt leefmilieu. Ruigtekruiden als Framboos en Hennegras die nu veelvuldig aanwezig zijn worden teruggedrongen naar de hogere plekjes.

In de lage kommen kunnen uitbundige moerasvegetaties met soorten als Stijve zegge, Blaaszegge en Gele lis tot ontwikkeling komen, afgewisseld met plekken met Zwarte bes struiken. Door de verdere vernatting kunnen de aangeplante Populieren zich nog moeilijker handhaven dan in de huidige situatie. Bij het omwaaien van de bomen ontstaan poelen die een geschikte vestigingsplaats vormen voor Waterviolier of moerasvegetaties.

In de laagten in het zuidelijke en noordelijke deel van het Vossenbroek kan door herstel van de basenrijke kwel aan het maaiveld de Bittere veldkers-vegetatie vanuit de sloten zich verder over de omgeving uitspreiden. De rompgemeenschap van het Moeraszegge-Elzenbroek kan zich zo weer herstellen in de richting van het natuurlijke Elzenbroek van de kwelrijke beekdalen, het Veldkers-Elzenbroekbos. Behalve Bittere veldkers groeien hier soorten als Witte waterkers, Beekpunge en Holpijp. Op wat voedselrijkere plekken vindt ook Dotterbloem een geschikt leefmilieu. Er is een goede kans dat de Grote boterbloem, een kwelsoort die in het verleden in het Vossenbroek voorkwam, zich weer in het moerasbos zal vestigen.

Aan de randen van de laagte en in het noordoostelijke deel van het gebied kan op grote schaal Vogelkers-Elzenbos tot ontwikkeling komen, terwijl in de hoogste gelegen drogere delen langs de buitengrens en de centraal gelegen dekzandkop Eiken-berkenbos kan groeien.

Op pagina's 52 en 53 wordt het gewenste herstel vanuit de bestaande situatie naar het Elzenzegge-Elzenbroek en het Veldkers-Elzenbroek geïllustreerd aan de hand van een aantal foto's.

1

2

3

Door verdere peilverhoging in het Elzenbroek (1) en het afdammen van sloten in de voormalige landbouwgebieden (3) kan de bestaande boskern (2) versterkt en uitgebreid worden, zodat een goed ontwikkeld Elzenzegge-Elzenbroek tot ontwikkeling komt. De Elzenzegge, die nu op de lage bodemdelen aanwezig is (5) vestigt zich weer op de bovengrondse delen van de wortelstelsels van Elzen (foto titelpagina) en op Stijve zeggepollen (6, bloeiwijze 4). Ook soorten als Zwarte bes (2) en Gele lis (titelpagina) profiteren van de vernattingsmaatregelen. In delen met basenrijke kwel kan de Bittere veldkersvegetatie die momenteel in een sloot aanwezig is (7) zich uitbreiden naar gebiedsdelen waar nu alleen Moeraszegge voorkomt (achtergrond foto 7).

4

5

6

7

Literatuur

BAL, D, H.M. BEIJE, Y.R. HOOGEVEEN, S.R.J. JANSEN EN P.J. VAN DER REEST, 1995. Handboek natuurdoeltypen in Nederland. I.K.C. Natuurbeheer, Wageningen.

IWACO, 1992. Onderzoek grondwaterbeheer Midden-Nederland. Deelrapporten Modellering watersysteem en Beschrijving watersysteem. Provincie Gelderland, Arnhem.

IWACO, 1992. GMN+ grondwatermodelstudie Oost-Veluwe - Opzet en ijking stationair model en rekenexercities. IWACO, Rotterdam.

GROOTJANS, P., 1984. De geohydrologische beschrijving van de provincie Gelderland. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Oosterwolde/Delft.

HEMKER, C.J. EN G.J. NIJSTEN, 1996. Groundwater flow modelling using Micro-Fem version 3.

K.N.N.V., 1973. Vossenbroek, bedreigd natuurgebied. K.N.N.V., afdeling Epe.

LIERE, W.J. VAN EN G.G.L. STEUR, 1955. Bodemkartering van de gemeente Epe.

POMPER, A.B., 1996. Schatting van doorlaatfactoren (k-waarden) aan de hand van in boorarchieven aanwezige boorbeschrijvingen. In "Stromingen" (vakblad van de Nederlandse Hydrologische Vereniging), Jaargang2, nummer 4.

PROVINCIE GELDERLAND, 1995. Onttrekkingsgegevens van waterwinningen in de provincie Gelderland in 1995. Provincie Gelderland, Dienst Milieu en Water, Arnhem.

PROVINCIE GELDERLAND, 1996. Analyseresultaten meetpunten 1029 en 1030 van het provinciale meetnet grondwaterkwaliteit. Provincie Gelderland, Dienst Milieu en Water, Arnhem.

R.G.D. Boorbeschrijvingen 27D31, 27D77, 27D82 en 27D87. NITG-TNO, Zwolle.

SCHAMINEE, J.H.J., E.J. WEEDA EN V. WESTHOFF, 1995. De vegetatie van Nederland - deel 2: Wateren, moerassen en natte heiden en deel 3: graslanden, zomen en droge heiden.

STIBOKA, 1982. Bodemkaart van Nederland, blad 27 West, Heerde. Staringcentrum, Wageningen.

STORTELDER, A.H.F., P.W.F.M. HOMMEL en R.W. DE WAAL, 1998. Broekbossen - Bosecosystemen van Nederland. K.N.N.V., Utrecht.

VEEN, P.J., 1996. Veenmoerassen en sprengenbeken - Natuurontwikkeling aan de noordoostelijke Veluwerand. Bureau Waardenburg, Culemborg.

VERKOOIJEN, R.G.V.A, J.H. HOOGENDOORN EN P. GROOTJANS, 1985. Hydrochemie van de provincie Gelderland. Provincie Gelderland, Arnhem.

WATERSCHAP VELUWE, 1990. Gegevens van watergangen in het Vossenbroek en omgeving. Waterschap Veluwe, Apeldoorn.

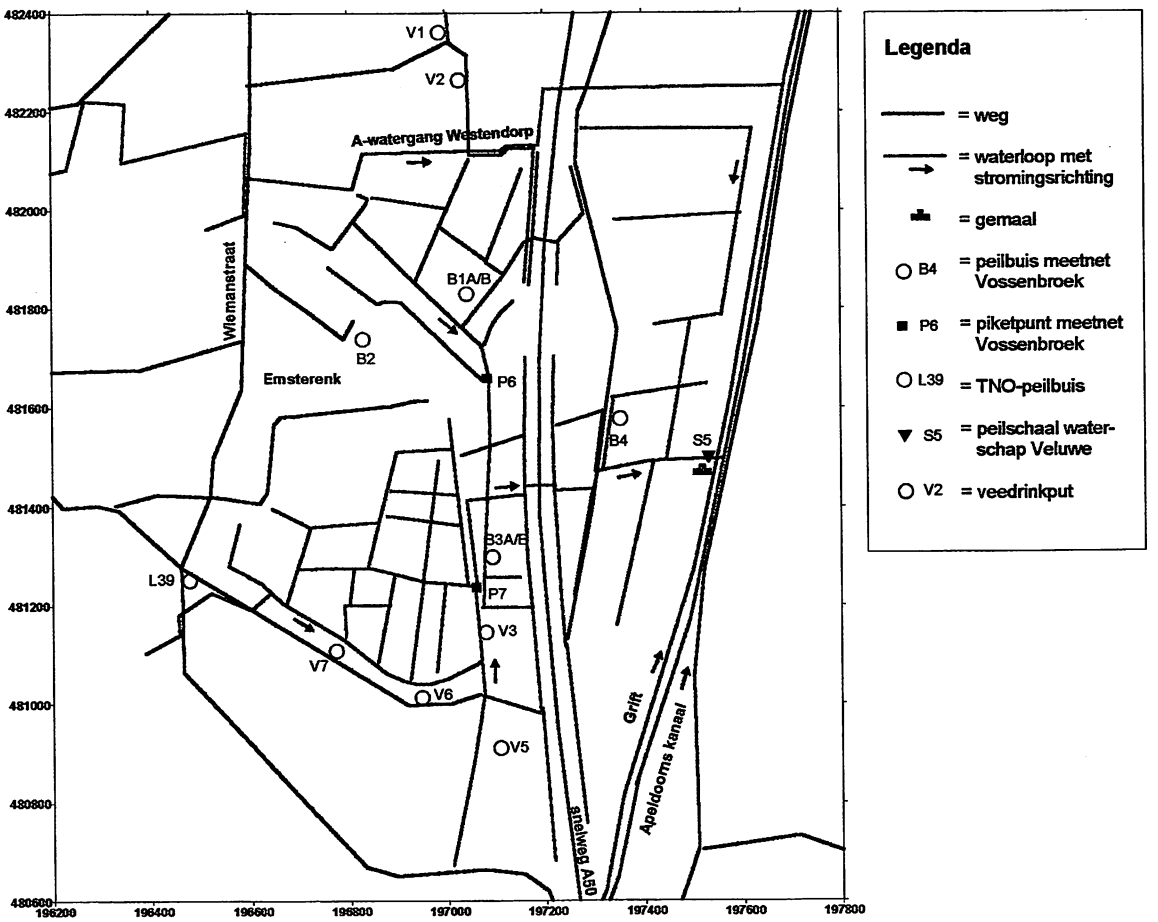
Bijlagen

1 Gegevens van het hydrologisch meetnet Vossenbroek
2 Verklaring van de Stuyfzandclassificatie
3 Opzet van het hydrologisch model Vossenbroek
4 Gevoeligheidsanalyse van het model
5 IJking van het model

Bijlage 1 Gegevens hydrologisch meetnet

Stamgegevens en kaart van het hydrologisch meetnet en van de hulppunten voor de modellering

Naam terrein:			Vossenbroek			Gebiedscode:			datum : 20 oktober 1997	
Beherende organisatie:			Geldersch Landschap			Kaartblad:		27D		
Waarnemer:			M. Wolting			Telefoon:				
Meetpunt Type	Nummer Letter	Coördinaten X	Y	Ref. hoogte (cm +NAP)	maaiveld (cm +NAP)	Peilbuis buislengte (cm)	filterlengte (cm)	bov.buis tov MV (cm)	Filter bovenkant (cm +NAP)	onderkant (cm +NAP)
B	1A	197065	481825	624	588	386	50	36	288	238
B	1B	197065	481825	635	588	105	50	47	580	530
B	2	196810	481740	806	798	418	50	8	438	388
B	3A	197095	481260	567	536	331	50	31	286	236
B	3B	197095	481260	571	536	157	50	35	464	414
B	4	197330	481575	556	532	390	50	24	216	166
V	1			774	765	750		9		24
V	2			723	706	621		17		102
V	3			572	544	970		28		-398
V	4			609	576	455		33		154
V	5			660	630	255		30		405
V	6			661	633	430		28		231
V	7			728	713	442		15		286



Enkele boorbeschrijvingen van de hydrologische meetpunten

Terrein: Vossenbroek — **Boring nummer: B1**
Beschreven door: JW vt Hullenaar — Datum: 20-10-1997
Kaartblad nr.: 27D — X - coördinaat: 197065
Afdeling/vak: — Y - coördinaat: 481825
Plaatsomschrijving: zie situatieschets.

Hoogte MV t.o.v. NAP: 5,88 m.

Diepte (cm) Van	- tot		Boorbeschrijving
000	-	040	Veen, sterk veraard, roodbruin
040	-	065	Veen met veel elzen-houtresten (broekveen), zwart
065	-	075	zand, moerig, met grind (overgang veen naar zand)
075	-	120	Zand, witgrijs, slecht gesorteerd, matig fijn tot grof, 150 tot 400 µm, met enkele grindkorrels (700-2000 µm)
120	-	200	Zand, witgrijs, matig fijn, redelijk gesorteerd
200	-	360	Zand, witgrijs, matig fijn, goed gesorteerd
		360	Boring beëindigd.

Boormethode: Edelman van 0 tot 120, verder pulsboor.

Terrein: Vossenbroek — **Boring nummer: B3**
Beschreven door: JW vt Hullenaar — Datum: 20-10-1997
Kaartblad nr.: 27D — X - coördinaat: 197095
Afdeling/vak: — Y - coördinaat: 481260

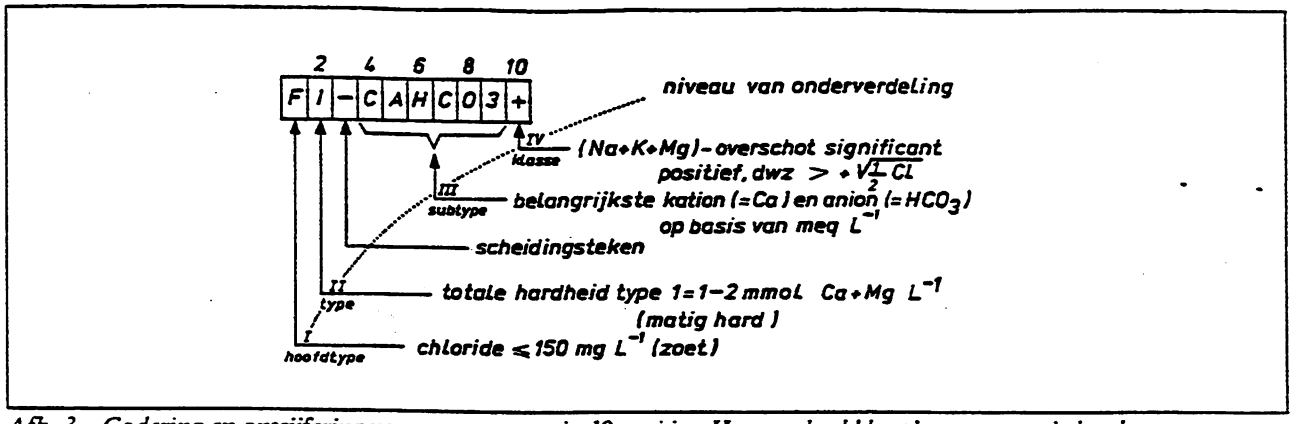
Plaatsomschrijving: zie situatieschets.

Hoogte MV t.o.v. NAP: 5,35 m

Diepte (cm) Van	- tot		Boorbeschrijving
000	-	035	Veen, sterk veraard, zwart
035	-	060	Zand, slecht gesorteerd, grof, met grindkorrels en houtresten
060	-	115	Zand, matig fijn
115	-	165	Klei, zandig, humeus, donkerbruin / zwart
165	-	310	Zand, redelijk gesorteerd, matig fijn tot matig grof, witgrijs
		310	Boring beëindigd.

Boormethode: Edelman van 0 tot 165, verder pulsboor.

Bijlage 2 Verklaring van de Stuyfzandclassificatie



Afb. 3 - Codering en ontcijfering van een watertype in 10 posities. Het voorbeeld heet 'een zoet, matig hard calciumbicarbonaat water met [Na + K + Mg]-overschot'. Dit surplus wijst vaak op een (voormalige) zoet-waterintrusie.

TABEL I – *Indeling in hoofdtypen op basis van het chloride-gehalte met de gebruikte codering en enkele typische voorbeelden uit Nederland.*

Hoofdtype	Code	Cl^- (mg L^{-1})	Typische voorbeelden uit Nederland
Zoet water	F	≦ 150	Grond- en oppervlaktewater in zanderige infiltratiegebieden, regenwater.
Zoet-brak water	f	150-300	(Voorgezuiverd) water uit Lek en Haringvliet in de duinen. Recent grondwater langs de infiltrerende benedenloop van Lek, Waal en IJssel.
Brak-zoet water	b	$300\text{-}10^3$	Veel grond- en oppervlaktewater in poldergebieden.
Brak-zout water	B	$10^3\text{-}10^4$	
Zout water	S	$10^4\text{-}2.10^4$	Zeewater en geïntrudeerd zeewater langs huidige kust.
Hyperhalien water	H	$> 2.10^4$	Grondwater in contact met zouthorsten in Oost-Nederland.

F = fresh; B = brackish; S = salt; H = hyperhaline

TABEL II – *Onderverdeling van hoofdtypen in typen op basis van de totale hardheid (voornamelijk Ca + Mg).*

Type nr.	Type naam	Code	Totale hardheid mmol L^{-1}	Natuurlijk voorkomen in hoofdtypen					
–1	zeer zacht	*	0 – ½	F					
0	zacht	0	½ – 1	F	f	b			
1	matig hard	1	1 – 2	F	f	b	B		
2	hard	2	2 – 4	F	f	b	B		
3	zeer hard	3	4 – 8	F	f	b	B		
4	extreem hard	4	8 – 16		f	b	B	S	
5	extreem hard	5	16 – 32				B	S	H
6	extreem hard	6	32 – 64				B	S	H
7	extreem hard	7	64 – 128					S	H
8	extreem hard	8	128 – 256						H
9	extreem hard	9	≧ 256						H

Bijlage 3 Modelopzet

De modellering van de verzadigde grondwaterstroming in het Vossenbroek is uitgevoerd met behulp van het eindige elementenmodel Micro-Fem (Hemker en Van Elburg, 1988). De omvang van het modelnetwerk is zodanig gekozen dat de effecten van de ingrepen in de waterhuishouding binnen de modelgrenzen blijven. De west- en oostgrens liggen respectievelijk op de 16 en 2 m isohypsen. De noord- en zuidgrens worden gevormd door stroombanen.

Binnen het modelgebied varieert de knooppuntsafstand van 300 m in het buitengebied, tot 100 m in de directe omgeving van het Vossenbroek, en 40 m in het Vossenbroek zelf. De waterlopen in het gebied zijn gedigitaliseerd en ingevoerd als lijnsegmenten.

Geohydrologische schematisatie

Op basis van de in hoofdstuk 2 beschreven geohydrologische opbouw zijn in het model twee watervoerende pakketten, en één scheidende laag opgenomen: een matig doorlatend eerste watervoerend pakket, bestaande uit zanden van de Formatie van Twente, een goed doorlatend tweede watervoerend pakket bestaande uit zanden van de Eem Formatie en de Formatie van Drenthe. De eerste scheidende laag wordt gevormd door de Eemklei, en de ondoorlatende basis wordt gevormd door de klei van de Formatie van Drenthe.

Oppervlaktewaterstelsel

In het model zijn de volgende primaire waterlopen als lijnsegmenten aangebracht: Smallertse beek, Verloren beek, de A-watergang van Westendorp naar de Grift, de hoofdwaterlopen en overige belangrijke waterlopen in het Vossenbroek. Voor deze waterlopen zijn de drainagebasis en de intree-weerstand ingevoerd. Buiten deze waterlopen is voor de rest van het modelgebied de hoogte van de drainagebasis en een gebiedsdekkende drainage weerstand ingevoerd.

Stationaire modellering van een wintersituatie

Als uitgangspunt voor de modellering is de natte winterperiode van eind half oktober1997 tot en met januari 1998 genomen. Voor deze periode zijn waterstandsgegevens van het recentelijk geplaatste hydrolgische meetnet aanwezig. Bovendien hoeft voor deze periode geen rekening gehouden te worden met bergingsveranderingen, omdat het peil in het begin van de periode gelijk is aan dat van het einde van de periode. Het grondwaterstandsverloop is in deze periode niet stationair. Bij de ijking van het model dient hiermee rekening gehouden te worden.

Grondwateraanvulling en -onttrekking

De aanvulling van het grondwater is berekend uit de gemiddelde neerslag en verdamping over de periode 14 oktober 1997 t/m 28 januari 1998. Voor de neerslag zijn de gegevens van het station Epe gebruikt. Voor de verdamping zijn de gegevens van het station Deelen gebruikt. De totale neerslag bedroeg in deze periode 202 mm, en de verdamping bedroeg 32 mm. Het gemiddelde neerslagoverschot is zodoende bepaald op (202-32) / 106 = 1,6 mm/d.

Grondwateronttrekking

In het modelgebied wordt in beperkte mate grondwater gewonnen voor industriële doeleinden. De winningen zijn in het model als puntonttrekkingen in het tweede watervoerende pakketten ingevoerd.

Doorlaatvermogens en weerstanden van de scheidende lagen

De doorlaatvermogens van de watervoerende pakketten en de weerstanden van de scheidende lagen zijn afgeleid uit literatuurgegevens van de Gelderse Vallei (IWACO, 1992, Grootjans, 1984). De doorlaatvermogens zijn verfijnd aan de hand van schattingen van doorlaatfaktoren (k-waarden) van boorbeschrijvingen (Pomper, 1996). De gebruikte waarden zijn opgenomen in de onderstaande tabel.

Tabel 4.1 *Ingevoerde doorlaatvermogens van de watervoerende pakketen en weerstand van de scheidende laag*

kD1 [m^2/d]	c2 [d]	kD2 [m^2/d]
150	d x 50	1000

kD1 = doorlaatvermogen eerste watervoerende pakket
kD2 = doorlaatvermogen tweede watervoerende pakket
c2 = hydraulische weerstand eerste scheidende laag

Intree-weerstand

De radiale intree-weerstand van de waterlopen is berekend met de formule van Ernst:

$$c = \frac{u}{\pi . k_r} \ln \frac{aD_r}{u}$$

waarin:

u = natte omtrek van de waterloop [m]
k_r = doorlatendheid van de laag waarin de waterloop zich bevindt [m/d]
a = geometriefactor voor radiale stroming [-]
D_r = dikte van de laag waarin radiale stroming plaatsvindt [m]

De waterlopen liggen allen in goed doorlatende matig fijne tot matig grove, grindrijke zandige afzettingen. De geometriefactor voor de radiale stroming van de waterlopen is m.b.v. het nomogram van Ernst bepaald op 1. De natte omtrek van de hoofdwaterlopen is berekend uit de dwarsprofielen afkomstig van het waterschap Veluwe. De natte omtrek van zijlopen, bermsloten en greppels is afgeleid aan de hand van een aantal veldmetingen. Met een doorlatendheid van k = 7 m/d, een dikte D_r van 10 m en een gemiddelde natte omtrek van 1 à 1,5 m is voor alle waterlopen een radiale weerstand van 0,15 d afgeleid.

De radiale weerstand bedraagt voor alle waterlopen 0,15 d. De weerstand is zeer laag omdat de waterlopen in vrij goed doorlatende, grindrijke zanden liggen. Naast de radiale weerstand is de drainerende werking ook afhankelijk van de weerstand die veroorzaakt wordt door de sliblaag. De uiteindelijke intreeweerstand wordt daarom bepaald op 2 x 0,15 = 0,3 dagen.

Aangezien in Micro-Fem de weerstand voor de gehele invloedsoppervlakte van een knooppunt geldt, zijn de weerstandswaarden aangepast aan de oppervlakte waarover daadwerkelijk drainage plaatsvindt. Deze oppervlakte is gelijk aan de breedte van de waterloop maal de knooppuntsafstand.

Uittree-weerstand

Indien het peil van het oppervlaktewater in een waterloop hoger is dan het grondwaterpeil in de omgeving vindt infiltratie plaats. Dit komt voor in het Apeldoorns kanaal. De weerstand die het water ondervindt bij infiltratie is groter dan bij drainage. Er is een uittree-weerstand van 3 maal de intree-weerstand gehanteerd (Jorna, 1995).

Drainage weerstand

Buiten de primaire waterlopen en het inzoomgebied is voor de rest van het gebied een gebiedsdekkende drainage weerstand afgeleid. De stroming door de ondergrond naar de drains en de secundaire waterlopen bestaat uit een verticale, horizontale en radiale component. Elke component ondervindt een bepaalde weerstand.

Voor de totale weerstand geldt:

$$c_{tot} = c_v + c_h + c_r$$

Waarin:

c_{tot}	=	totale drainage weerstand [d]
c_v	=	weerstand van de verticale stroming tussen de waterlopen [d]
c_h	=	weerstand van de horizontale stroming tussen de watergangen [d]
c_r	=	weerstand van de radiale stroming nabij de watergangen [d]

De drainage weerstand kan bepaald worden op grond van de formule van Ernst:

$$c_{tot} = \frac{D_v}{k_v} + \frac{L^2}{8kD} + \frac{L}{\pi.k_r}\ln\frac{aD_r}{u}$$

Waarin:

D_v	=	dikte van de laag waarin verticale stroming plaatsvindt [m]
k_v	=	doorlatendheidsfactor voor de verticale stroming [m/d]
L	=	gemiddelde slootafstand [m]
kD	=	horizontale doorlaatvermogen van het watervoerende pakket [m^2/d]
k_r	=	doorlatendheidsfactor van de laag waarin radiale stroming plaatsvindt [m/d]
a	=	geometriefactor voor radiale stroming [-]
D_r	=	dikte van de laag waarin radiale stroming plaatsvindt [m]
u	=	natte omtrek van de secundaire waterlopen

In de onderstaande tabel zijn de waarden voor de verschillende variabelen weergegeven:

D_v [m]	k_v [m/d]	L [m]	kD [m/d]	k_r [m/d]	a [-]	D_r [m]	u [m]
10	7	75	150	7	1	10	1

De waarden van de verschillende componenten van de drainage weerstand zijn weergegeven in de volgende tabel:

c_v [d]	c_h [d]	c_r [d]	c_{tot} [d]
5	7	20	32

Oppervlaktewaterpeilen

Voor het bepalen van de drainagebasis zijn bij het waterschap gegevens voor bepaling van de oppervlaktewaterpeilen opgevraagd. In de wintersituatie is voor het poldergedeelte in het Vossenbroek het polderpeil gebruikt. In de hellende gebieden zijn de bodemhoogten gebruikt, aangevuld met een waterdiepte uiteenlopend van 10 tot 25 cm.

Stijghoogten langs de modelranden

De vaste stijghoogten langs de modelranden zijn afgeleid uit de berekende isohypsen-kaarten van de regionale modellering van Midden Nederland (Iwaco, 1992) en stijghoogtegegevens van TNO-meetpunten.

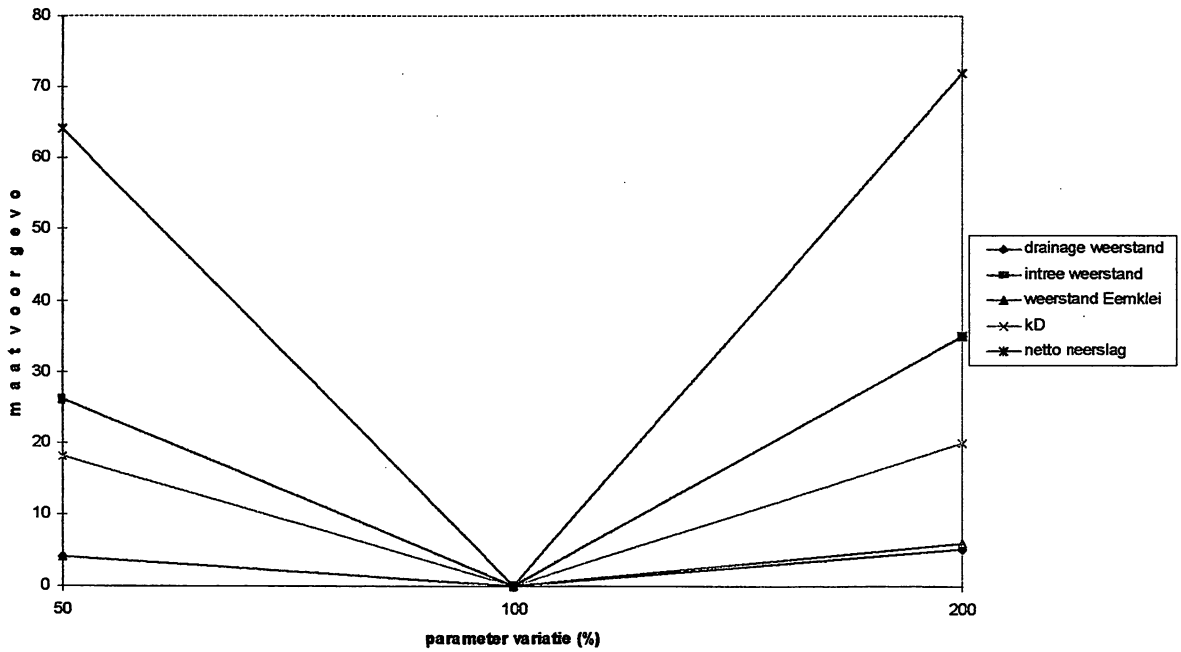
Bijlage 4 Gevoeligheidsanalyse

Met de beschreven invoerparameters is een eerste modelberekening gedaan. Met het berekende model is vervolgens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om na te gaan hoe gevoelig het model is voor een bepaalde parameter. Hiertoe zijn de waarden voor het doorlaatvermogen, de netto neerslag, intree-weerstand, drainage weerstand en de weerstand van de eerste scheidende laag (Eemklei) afzonderlijk gevarieerd: 50 en 200 % van de oorspronkelijke waarde. Voor een maat van de gevoeligheid is de volgende formule gehanteerd:

$$\frac{1}{N} = \sum_{i=1}^{n} [h_i(100\%) - h_i(x\%)]^2$$

waarin:

h_i(100 %)	=	stijghoogte in knooppunt (i) van het oorspronkelijke model
h_i(x %)	=	stijghoogte in knooppunt (i) bij een parameter variatie van x %
N	=	totaal aantal knooppunten



Figuur 4.1 Resultaten gevoeligheidsanalyse

De resultaten van de analyse zijn weergegeven in de grafiek in figuur 4.1. Op de x-as wordt de variatie van de verschillende parameters in procenten weergegeven. Op de y-as wordt de maat van de gevoeligheid gegeven.

Uit de grafiek blijkt dat het model het meest gevoelig is voor de variatie in netto neerslag. Zelfs de gevoeligheid voor de netto neerslag is echter nog beperkt. Door de sterke grondwaterstroming op de scherpe overgang van het Veluwe massief naar het IJsseldal zijn de waterstanden in het modelgebied in grote mate afhankelijk van de opgelegde stijghoogten langs de west- en oostgrens, en slechts in beperkte mate gevoelig voor de geteste parameters.

Bijlage 5 IJking van het model

De ijking heeft plaatsgevonden aan de hand van gemeten stijghoogten van het grondwater volgens gegevens van het hydrologische meetnet Vossenbroek en TNO-meetpunten in de omgeving. Een aantal veedrinkputten in de omgeving zijn gebruikt als hulppunten. De vergelijking van gemeten en berekende stijghoogten wordt weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Vergelijking van gemeten en berekende stijghoogten

peilbuis	gemeten	berekend	verschil
B1	5,79	5,84	0,05
B2*	6,40	6,60	0,20
B3	5,26	5,20	-0,06
B4*	5,10	5,07	-0,03
B37*	10,50	10,65	0,15
B39	6,97	7,08	0,11
B49*	7,70	7,56	-0,14
B88.1	7,19	7,39	0,20
B90.1	2,20	2,32	0,12
B90.2	2,30	2,38	0,08
B114	9,00	9,06	0,06
V1*	6,70	6,65	-0,05
V2*	6,50	6,48	-0,02
V3*	5,20	5,25	0,05
V4*	5,50	5,45	-0,05
V6*	5,80	5,79	-0,01
V7*	6,20	6,21	0,01

In de ijkingsfase zijn de berekeningen van de intree-weerstanden en drainageweerstanden herzien. Door hogere doorlatendheden te kiezen werd de intreeweerstand verlaagd van 0,5 naar 0,3 d, en de drainageweerstand van 30 naar 15. Tenslotte is voor het tweede watervoerende pakket in het gehele modelgebied dezelfde waarde gekozen: 1000 m^2 / d.

Het model is niet gecallibreerd met afvoergegevens uit het gebied. Daarom is de betrouwbaarheid van de absolute waarden van de kwelsterkten beperkt. Voor de relatieve vergelijking van de resultaten van de scenario-berekeningen is het inzicht echter wel voldoende.