



ALTERRA

WAGENINGEN UR

# Eerste analyse van de hydrologische en bodemchemische geschiktheid van het landgoed het Lankheet voor de aanleg van vloeivelden

P.J.T van Bakel  
H.Th.L. Massop  
R.H. Kemmers  
S.P.J. van Delft

Alterra-rapport 1547, ISSN 1566-7197



Analyse van de hydrologische en bodemchemische geschiktheid van het landgoed het Lankheet voor de aanleg van vloeivelden



# **Eerste analyse van de hydrologische en bodemchemische geschiktheid van het landgoed het Lankheet voor de aanleg van vloeivelden**

**P.J.T van Bakel  
H.Th.L. Massop  
R.H. Kemmers  
S.P.J. van Delft**

**Alterra-rapport 1547**

**Alterra, Wageningen, 2007**

## REFERAAT

Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, R.H. Kemmers en S.P.J. van Delft, 2007. *Eerste analyse van de hydrologische en bodemchemische geschiktheid van het landgoed het Lankheet voor de aanleg van vloeivelden..* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1547. 60 blz.; 18 fig.; 5 tab.; 10 ref.

Waterbeheerders staan voor 3 wateropgaven: verdrogingsbestrijding, piekafvoerreductie en voldoen aan de KRW-doelstellingen. De aanleg van vloeivelden voor zuivering van beekwater kan aan alle 3 de opgaven een bijdrage leveren. Voor het landgoed het Lankheet is de hydrologische en bodemchemische geschiktheid voor aanleg ervan onderzocht, op basis van bestaande gegevens en een beperkt veldonderzoek. De belangrijkste conclusies zijn dat het landgoed het Lankheet in hydrologisch opzicht geschikt is. De bodemchemische geschiktheid is door het lage fosfaatbindende vermogen gering

Trefwoorden: bodemchemie, fosfaatbindend vermogen, hydrologie, piekafvoerreductie, verdrogingsbestrijding, vloeivelden, waterberging, waterzuivering

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl). Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie [www.boomblad.nl/rapportenservice](http://www.boomblad.nl/rapportenservice).

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

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

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Woord vooraf                                                                           | 7  |
| Samenvatting                                                                           | 9  |
| 1 Inleiding                                                                            | 13 |
| 1.1 Achtergronden                                                                      | 13 |
| 1.2 Probleem- en doelstelling                                                          | 13 |
| 1.3 Leeswijzer                                                                         | 14 |
| 2 Beschrijving van het projectgebied en omgeving                                       | 15 |
| 2.1 Topografie en landgebruik                                                          | 15 |
| 2.2 Geohydrologie                                                                      | 15 |
| 2.3 Bodem- en grondwatertrappenkaart                                                   | 18 |
| 2.4 Hydrologie                                                                         | 21 |
| 3 Uitgangspunten en geografische geschiktheidsbeoordeling aan te leggen<br>vloeivelden | 25 |
| 3.1 Uitgangspunten voor de analyse                                                     | 25 |
| 3.2 Hydrologische uitgangspunten voor de aanleg van vloeivelden                        | 25 |
| 3.3 Inperken zoekgebied op basis van hoogtecijfers en wegen                            | 26 |
| 3.4 Geschiktheid voorgestelde percelen voor aanleg van vloeivelden                     | 26 |
| 3.4.1 Geografische geschiktheid                                                        | 26 |
| 3.4.2 Geschiktheid voor aanleg en werking buisdrainage                                 | 26 |
| 3.4.3 Geschiktheid voor afvoer van gezuiverd water ten behoeve van<br>infiltratie      | 26 |
| 4 Zuiverende werking van de vloeivelden                                                | 27 |
| 4.1 Inleiding                                                                          | 27 |
| 4.2 Verblijftijden                                                                     | 27 |
| 4.3 Mogelijkheden voor fosfaatberging in de bodem                                      | 28 |
| 4.3.1 P-balans                                                                         | 28 |
| 4.3.2 Fosfaatadsorptie in bodem                                                        | 28 |
| 4.3.3 Fosfaatbuffering                                                                 | 31 |
| 4.3.4 Enkele scenario's                                                                | 32 |
| 4.3.5 Kinetiek en anaërobie                                                            | 34 |
| 4.3.6 Conclusies                                                                       | 34 |
| 5 Combinatie met waterberging en verdrogingsbestrijding                                | 37 |
| 6 Conclusies en aanbevelingen                                                          | 39 |
| 6.1 Conclusies                                                                         | 39 |
| 6.2 Aanbevelingen                                                                      | 39 |
| Literatuur                                                                             | 41 |

## ***Bijlagen***

|   |                                                                                                                              |    |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Boringen in de omgeving Lankheet die wel of niet het topsysteem doorboren, met geschatte kD-waarde op basis van boorgegevens | 43 |
| 2 | Boorgatmetingen                                                                                                              | 45 |
| 3 | Maaiveldshoogteligging projectgebied en omgeving                                                                             | 51 |
| 4 | Dwarsraai over projectgebied, ongeveer op de scheiding tussen wel en niet onder vrij verval te voorzien van beekwater        | 53 |
| 5 | Dwarsraaien over 3 percelen die in aanmerking komen voor aanleg van vloeivelden                                              | 55 |
| 6 | Berekening van drainafstand vloeiveld type 2                                                                                 | 57 |
| 7 | Bodemchemische eigenschappen per bodemhorizont van drie locaties (x- en y-coördinaten) per onderzocht perceel (veld)         | 59 |

## Woord vooraf

In 2003 werden in het kader van het project Systeeminnovaties in de landbouw voor effectief waterbeheer ideeën geboren om vanuit verschillende invalshoeken een bijdrage te leveren tot herstel van watersystemen. De essentie is een combinatie van waterzuivering, verdrogingsbestrijding, reductie van piekafvoeren en productie van biomassa, door middel van de passage van oppervlaktewater door aan te leggen vloeivelden. Een noodzakelijke volgende stap is deze ideeën verder te ontwikkelen en ze toe te passen op een concreet praktijkvoorbeeld. Het landgoed het Lankheet lijkt daarvoor een zeer geschikte kandidaat, met name vanwege de fysieke mogelijkheden om beekwater onder vrij verval door het landgoed te leiden. Onder de enthousiaste leiding van Adrie van de Werf van PRI heeft Alterra begin 2004 de hydrologische en bodemchemische geschiktheid nader geanalyseerd. De onderzoekers zijn zeer erkentelijk voor de enthousiaste inbreng en medewerking van de landgoedeigenaar.





## Samenvatting

Waterbeheerders in Nederland staan voor een aantal wateropgaven: zorgen voor droge voeten, verdrogingsbestrijding, piekafvoerreductie en behoud of herstel van de landschappelijke/ecologische kwaliteit van oppervlaktewateren. De daaruit voortvloeiende veelheid aan doelstellingen is alleen met innovatieve oplossingen te bereiken. In het landgoed het Lankheet, ca. 5 km ten zuidwesten van Haaksbergen, doet zich de gelegenheid voor een aantal ideeën in een pilot daadwerkelijk uit te voeren. Een deel van de afvoer van de Buurserbeek kan via een omleiding naar het landgoed worden gevoerd en door vloeivelden worden gevoerd. Doel van onderhavige analyse is een verkenning uit te voeren van hydrologische en bodemchemische geschiktheid van de geselecteerde locaties. Hoofdstuk 1 geeft de achtergronden en de probleem- en doelstelling.

In hoofdstuk 2 wordt het studiegebied en omgeving beschreven. Het studiegebied is dat deel van het landgoed waar vloeivelden kunnen worden aangelegd. Om praktische redenen is het gehele landgoed als studiegebied genomen.

De geohydrologische opbouw ervan is te schematiseren tot één watervoerend (freatisch) pakket, aan de onderzijde begrensd door de geohydrologische basis. De dikte is op de meeste plaatsen beperkt maar ter plekke van het landgoed loopt een noord-zuid gericht opgevoeld glaciaal dal met afwijkende bodemopbouw en een dikte in het centrum van ca. 35 m. Het doorlaatvermogen buiten dit opgevoeld dal bedraagt ca.  $80 \text{ m.d}^{-1}$ ; in het glaciaal dal maximaal ca.  $500 \text{ m.d}^{-1}$ .

De meest voorkomende bodemeenheden zijn zwarte enkeerdgronden, beekerdgronden, veldpodzolen en haarpodzolen. De grondwatertrappen zijn redelijk gespreid tussen natte en droge Gt's.

De belangrijkste waterloop is de Buurserbeek, die in beheer is bij het waterschap Rijn en IJssel. Een flink areaal van het stroomgebied ligt in Duitsland waar de hoogteverschillen aanzienlijk zijn. In de beek worden op diverse plaatsen afvoer- en waterstandsmetingen verricht. De daaruit afgeleide debieten laten een grote variatie zien met een maatgevende afvoer van ca.  $20 \text{ m.s}^{-1}$  en gemiddeld 2 maanden per jaar een afvoer die lager is dan  $0,25 \text{ m.s}^{-1}$ .

In hoofdstuk 3 worden allereerst de uitgangspunten voor de analyse beschreven:

- het te zuiveren water is water afkomstig van de Buurserbeek;
- het water moet onder vrij verval naar de vloeivelden kunnen stromen;
- de mogelijkheid van inzet van vloeivelden voor piekafvoerreductie en verdrogingsbestrijding moet worden meegenomen;
- de te beschouwen typen vloeivelden zijn een vloeiveld waar het te zuiveren water horizontaal over het maaiveld stroomt (type 1) en een vloeiveld waarin het water na een bodempassage via drains wordt afgevoerd (type 2);
- de gemiddelde verblijftijd van het water in type 1 moet 5 dagen zijn

- de infiltratiecapaciteit van de bodem bij type 2 is maximaal 100 mm.d<sup>-1</sup>;
- de spreiding in de verblijftijd van het water in de bodem bij type 2 moet niet al te groot zijn.
- de vloeivelden moeten een redelijke omvang hebben van minimaal enkele ha's.
- de wegzijging naar de omgeving moet beperkt zijn omdat in het geval van grote wegzijging niet is te onderzoeken wat de zuiverende werking is van het vloeiveld.

Op basis hiervan zijn locaties voor vloeivelden geselecteerd en zijn globale indicaties te geven voor de hydrologische geschiktheid van de geselecteerde locaties (3 landbouwpercelen) voor de aanleg van vloeivelden. Ook is globaal nagegaan of combinatie met waterberging en verdrogingsbestrijding mogelijk is.

De zuiverende werking van een vloeiveld wordt bepaald door de mogelijkheden van afbraak of onderschepping van nutriënten. Voor stikstof is vooral de denitrificerende werking en de afvoer via het riet van belang. Voor P de onderscheppende werking aan het adsorptiecomplex van de bodem en de afvoer via het gewas. De afbraak- en onderscheppingsmogelijkheden hangen sterk samen met de (spreiding in) de verblijftijd van het water in het systeem en de mogelijkheden van fosforberging in de bodem. In hoofdstuk 4 worden de eigenschappen of gedragingen van het systeem beschreven die belangrijk zijn voor de zuiverende werking van vloeivelden. Allereerst hoe de gemiddelde verblijftijd van het water kan worden vergroot of hoe de spreiding in de verblijftijd kan worden verkleind. Vervolgens wordt het proces van fosfaatadsorptie in de bodem beschreven en wordt op basis van bodemonsters van drie bodemhorizonten op drie locaties per perceel de adsorptiekaracteristiek voor fosfaat gegeven. Ook zijn berekeningen uitgevoerd van de actuele fosfaatvoorraad. Op basis hiervan zijn de mogelijkheden van fosfaatbuffering nagegaan.

De belangrijkste conclusies uit de analyse zijn:

- de medewerking van de eigenaren van landgoed het Lankheet biedt een unieke gelegenheid de mogelijkheden van een innovatieve oplossing voor combinatie van zuivering van beekwater, piekafvoerreductie en verdrogingsbestrijding te onderzoeken
- de geohydrologische en bodemkundige opbouw van het studiegebied is geen belemmering voor uitvoering van het experiment;
- de helft van het landgoed is qua hoogteligging geschikt om water vanuit de Buurserbeek onder vrij verval te ontvangen en na zuivering weer terug te leiden naar de Buurserbeek;
- de geselecteerde percelen zijn in hydrologisch opzicht als geschikt beoordeeld voor de aanleg van vloeivelden;
- combinatie met waterberging is mogelijk maar vereist wel dat de aanvoerleiding ruim moet worden gedimensioneerd;
- door de aanvoer van water vanuit de Buurserbeek ontstaan mogelijkheden van extra grondwateraanvulling en verhoging van de grondwaterstand;
- de bodems van de geselecteerde locatie hebben slechte fosfaatbindende eigenschappen;
- de bouwvoor is fosfaatverzadigd en de ondergrond is ongeveer voor eenderde fosfaatverzadigd;

- na afgraven van de bouwvoor kan na 1 jaar een fosfaatconcentratie van 0,2 mg.l<sup>-1</sup> in drainwater worden bereikt; na ongeveer 8 jaar 0,1 mg.l<sup>-1</sup>;

De belangrijkste aanbevelingen zijn:

- de hydrologische effecten van de aanleg van vloeivelden beter onderbouwen met een regionaal hydrologische model;
- door middel van bijhouden van de water- en stoffenbalans van de aan te leggen vloeivelden de hydrologische en zuiverende werking van vloeivelden op praktijkschaal te onderzoeken en via modelberekeningen te extrapoleren naar regionale toepassing.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergronden

Waterbeheerders dreigen ten onder te gaan in een zee van beleidsnota's, vol met deelproblemen en deeloplossingen. In de meeste deelstroomgebieden is het complex van problemen en belangentegenstellingen in volle omvang aanwezig:

- burgers willen geen wateroverlast door hoge afvoerpieken, maar boeren willen hun land snel ontwateren en geen water vasthouden om de hoge afvoerpieken te reduceren;
- natuurbeheerders willen voldoende hoge grondwaterstanden voor de natte natuurterreinen, maar de boeren willen diep genoeg ontwateren en waterbedrijven willen zoveel mogelijk grondwater onttrekken;
- drinkwaterbedrijven willen geen grondwater oppompen met agrarische verontreinigingen, maar boeren willen hun gewassen optimaal bemesten en beschermen.

Al deze partijen kijken naar de waterschappen en provincies om de problemen op te lossen. Kern van alle problemen is de landbouw, die als grootste ruimtegebruiker het watersysteem kwantitatief en kwalitatief domineert. Tot nu toe trachten de waterschappen en provincies deelproblemen op lokale schaal te verlichten door middel van deeloplossingen. Zo zijn er lokale projecten voor verdrogingsbestrijding, reductie van piekafvoeren, reductie van grondwaterverontreiniging etc. Deze lokale aanpak van deelproblemen kan tegenstrijdig werken: water vasthouden t.b.v. piekafvoerreductie kan leiden tot uitspoeling van fosfaat en zware metalen naar het oppervlaktewater, vergroting van de bergingscapaciteit van de watergangen t.b.v. piekafvoerreductie kan leiden tot verdere verdroging van natuurgebieden en landbouwgronden. Als alternatief voor deze versnipperde en tegenstrijdige aanpak stellen wij een integrale aanpak voor van alle problemen, waarmee het waterbeheer te kampen heeft in een bepaald deelstroomgebied. Als het watersysteem diverse belangen onvoldoende dient, is een systeeminnovatie gewenst.

In het landgoed het Lankheet, ca. 5 km ten zuidwesten van Haaksbergen, op de grens van Overijssel en Gelderland, doet zich de gelegenheid voor een aantal ideeën in een pilot daadwerkelijk uit te voeren. In deze notitie wordt de hydrologie en de bodemchemie van dit landgoed nader geanalyseerd, voor zover van belang voor de geschiktheid voor de aanleg van vloeivelden voor waterzuiveringen, waterberging en verdrogingsbestrijding.

## 1.2 Probleem- en doelstelling

De haalbaarheid om met behulp van vloeivelden beekwater te zuiveren is niet bekend. Ook de mogelijkheden om deze manier van waterzuivering te combineren met waterberging en verdrogingsbestrijding is nooit eerder onderzocht. Doel van de

studie is een eerste verkenning uit te voeren om de haalbaarheid van deze innovatieve oplossing te onderzoeken.

### **1.3 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt het projectgebied en omgeving beschreven, opgesplitst naar topografie en landgebruik, geohydrologie, bodem- en grondwatertrappen en hydrologie. In hoofdstuk 3 worden de uitgangspunten voor de geschiktheidsbeoordeling en de geschiktheid van de geselecteerde percelen voor de aanleg van vloeivelden beschreven. De bodemchemische eigenschappen die relevant zijn voor de zuiverende werking van vloeivelden komt in hoofdstuk 4 aan de orde. In hoofdstuk 5 ten slotte wordt nader ingegaan op de mogelijkheden van combinatie van waterzuivering met waterberging en verdrogingsbestrijding.

## 2 Beschrijving van het projectgebied en omgeving

### 2.1 Topografie en landgebruik

Het landgoed het Lankheet is gesitueerd tussen Haaksbergen en Eibergen, direct ten zuiden van de Buurserbeek.

Het studiegebied is dat deel van het landgoed waar potentieel zuiveringsmoerassen of vloeivelden kunnen worden aangelegd of water kan worden geborgen. Een voorlopige begrenzing is aangegeven in figuur 1. In deze kaart is ook het landgebruik aangegeven. Dat is overwegend bos maar ook een aantal percelen grasland en een paar percelen bouwland.



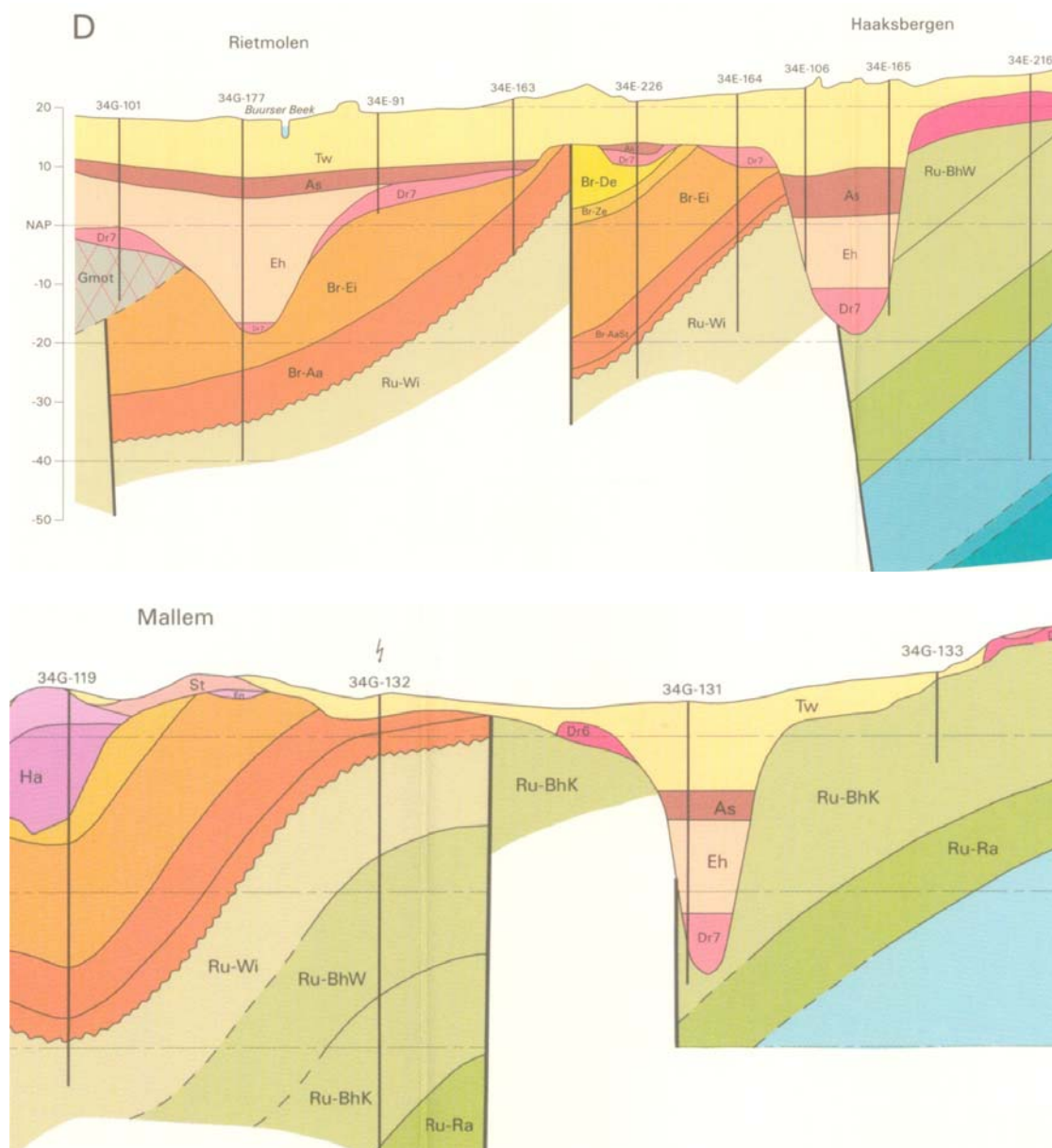
Figuur 1 Begrenzing van het studiegebied en grondgebruik

### 2.2 Geohydrologie

De geohydrologische opbouw van de ondergrond in de omgeving van Lankheet is te schematiseren tot een freatisch watervoerend pakket, aan de onderzijde begrensd door de geohydrologische basis. De diepte van de geohydrologische basis is op de meeste plaatsen beperkt: minder dan 10 m. De basis van het studiegebied bestaat uit veelal kleiige afzettingen behorende tot de Rupelformatie, met o.a. de afzettingen van Brinkheurne (klei van Woold en Kotten: zware, harde klei met septariën), afzettingen van Winterswijk (zware lemige klei met laagjes fijn zand) en de Formatie van Breda, met o.a. afzettingen van Aalten (Laag van Stemerding: klei, zandig), Laag van Miste



(zand lemig, veel glauconiet en schelpen) en afzettingen van Eibergen (zwarte klei bruin, rijk aan glimmers).



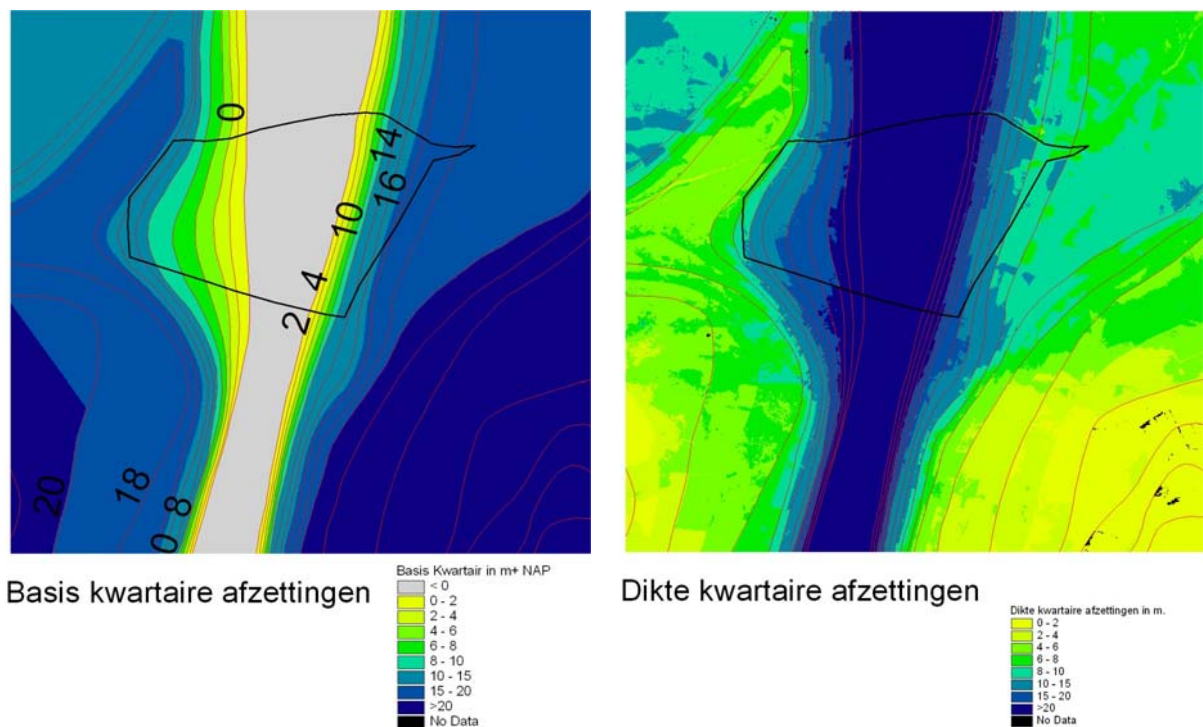
Figuur 2 Gedeelten van het geologische profiel ten noorden en ten zuiden van Lankheet, met onder Haaksbergen het glaciale dal

Op een aantal plekken ligt op de tertiaire afzettingen nog grondmorene behorende tot de Formatie van Drenthe. Deze laag kan, indien aanwezig, eveneens tot de hydrologische basis worden gerekend. Boven de basis liggen ter weerszijde van het glaciale dal afzettingen behorende tot de Formatie van Twente, bestaande uit zeer fijn en matig fijn zand, soms matig, plaatselijk met leem of veen.

Een uitzondering op deze beschrijving vormt een noord-zuid gelegen en opgevuld glaciaal dal. Het glaciaal dal heeft een afwijkende opbouw. Op basis van twee dwarsprofielen (figuur 2) wordt een diepte van ca. 35 m onder maaiveld geschat. Het dal is opgevuld met materiaal behorende tot de volgende afzettingen; van onderaf:

- fluvio-glaciale afzettingen (grindhoudende, matig grof tot uiterst grof zand met klei of leemlagen), behorende tot de Formatie van Drenthe (Dr 7);
- matig grof en fijn zand, soms matig grof, plaatselijk met leem of veen, behorende tot de Formatie van Eindhoven (Eh);
- klei, leem en veen, met dunne matig fijne- en matig grove zandlagen, behorende tot de Formatie van Asten (As);
- zeer fijn en matig fijn zand, soms matig, plaatselijk met leem of veen, behorende tot de Formatie van Twente (Tw).

De dikte van het glaciaal dal bedraagt volgens de Grondwaterkaart 30-70 m en volgens twee dwarsprofielen bij de geologische kaart wordt de dikte op 35 m geschat. Om de basis en de dikte van het eerste watervoerende pakket beter in te kunnen schatten zijn de isolijnen van de basis van het Kwartair gedigitaliseerd en omgezet in een hoogtetgrid. Vervolgens is met behulp van dit hoogtetgrid en het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) de dikte van de kwartaire afzettingen bepaald (figuur 3).



*Figuur 3 Basis en dikte kwartaire afzettingen*

De basis van het dal is niet goed uitgekarteerd maar de ligging wel. Figuur 3 geeft duidelijk aan dat de kwartaire afzettingen ter plaatse van het projectgebied dikker zijn ontwikkeld dan daarbuiten. De grootste dikte wordt bereikt in het midden van het

projectgebied, de dikte neemt zowel in oostelijke als westelijke richting af naar de randen van het projectgebied.

De slecht doorlatende afzettingen behorende tot de Formatie van Asten dekken het diepere watervoerende pakket af. Door TNO (Aelmans, 1974) zijn in het glaciale dal op een aantal locaties  $kD$ -waarden geschat. Voor locatie 43G-95 schat TNO  $380 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ , bij een dikte van 48 m. Dit komt overeen met een  $k$ -waarde van  $8 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ . Op locatie 34 E -114, ca. 3 km noordelijk van Lankheet, is een pompproef gehouden in het glaciale dal. De  $kD$ -waarde bedroeg  $500\text{-}700 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ . Bij een dikte van 45 m is de  $k$ -waarde  $11\text{-}17 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ . De  $k$ -waarde is mogelijk aan de randen van het dal lager, ca  $10 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ . Het afdekkende pakket (maximale dikte ca. 35 m) is volgens de Grondwaterkaart waarschijnlijk in het gehele dal aanwezig. De hydraulische weerstand is niet gegeven.

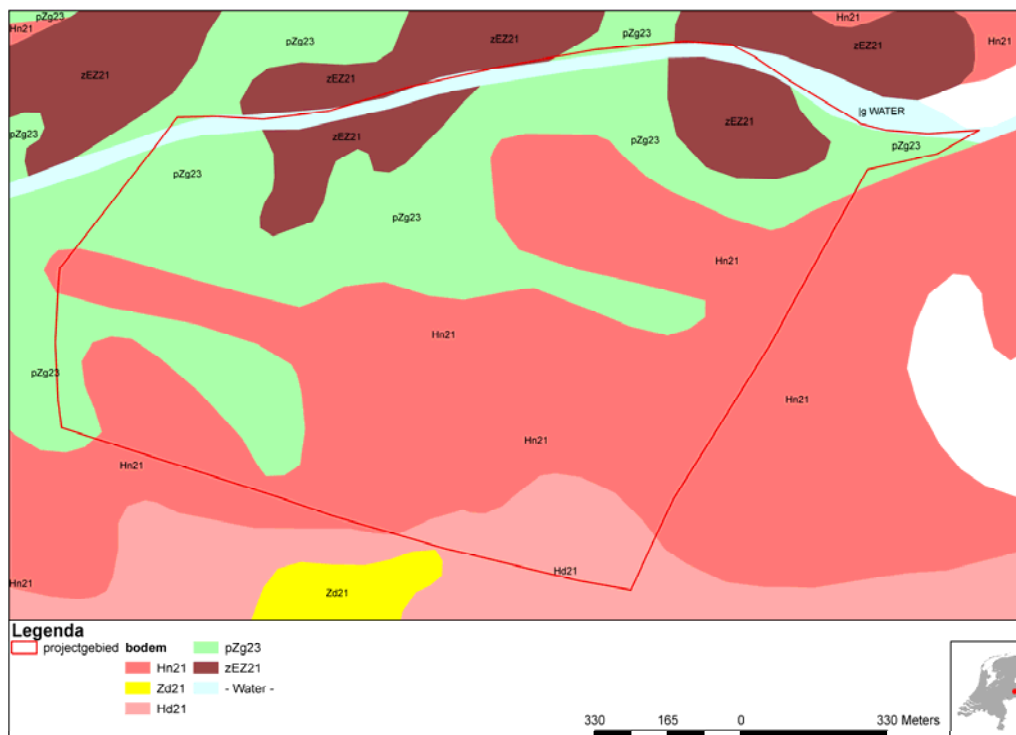
Het doorlaatvermogen van het freatisch pakket ter weerszijden van de breuk is gezien de geringe dikte beperkt. Er zijn slechts weinig boringen beschikbaar die het gehele topsysteem doorboren, nl.3. Op basis van de  $k$ -waardentoekenning van NITG is de  $kD$ -waarde resp. 60, 93 en  $225 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ . Deze waarde wordt vooral bepaald door de dikte van de aanwezige grove zanden ( $k = 15 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ ). Deze drie boringen zijn beschreven als volledig bestaande uit grof zand. De overige boringen hebben het topsysteem niet geheel doorboord en de  $kD$ -waarde betreft slechts een deel van het topsysteem. In deze boringen komen ook fijnzandige lagen voor.

Op basis van voorgaande overwegingen wordt de gemiddelde  $kD$ -waarde voor het topsysteem geschat op ca  $80 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  (dikte 10 m, 50% fijn en 50% grof zand, resp.  $k = 1,5$  en  $15 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ ).

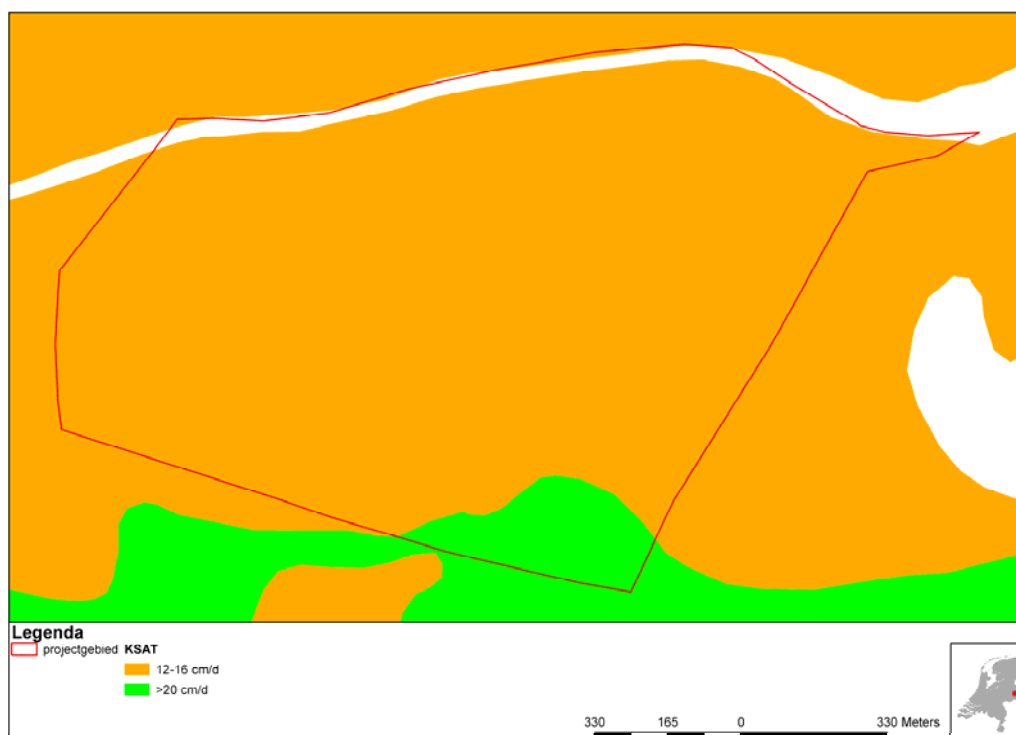
## 2.3 Bodem- en grondwatertrappenkaart

In figuur 4 zijn de bodemtypen volgens de bodemkaart 1: 50 000 weergegeven. De belangrijkste bodemtypen zijn de hoge zwarte enkeerdgronden (zEZ21), beekerdgronden (pZg23), veldpolzolen (Hn21) en in het zuiden de haarpodzolgronden (Hd21).

De bodemtypen volgens de Bodemkaart 1 : 50 000 zijn vertaald naar een beperkt aantal bodemprofielen. Hiervoor zijn dezelfde 21 bodemprofielen onderscheiden als bij de generalisatie van de Bodemkaart 1 : 250 000 ten behoeve van de PAWN-studie (Wösten et al., 1988). Voor deze bodemeenheden is de profielopbouw alsmede de omschrijving van het materiaal bekend. Op basis hiervan zijn bodemfysische bouwstenen toegekend. De eigenschappen van de bouwstenen ( $k(h)$  en  $\theta(h)$ -relaties) zijn ontleend aan Wösten et al. (2001). De  $k_{\text{sat}}$ -waarde van de bovenste bouwsteen is een maat voor de infiltratiecapaciteit van de bodem.



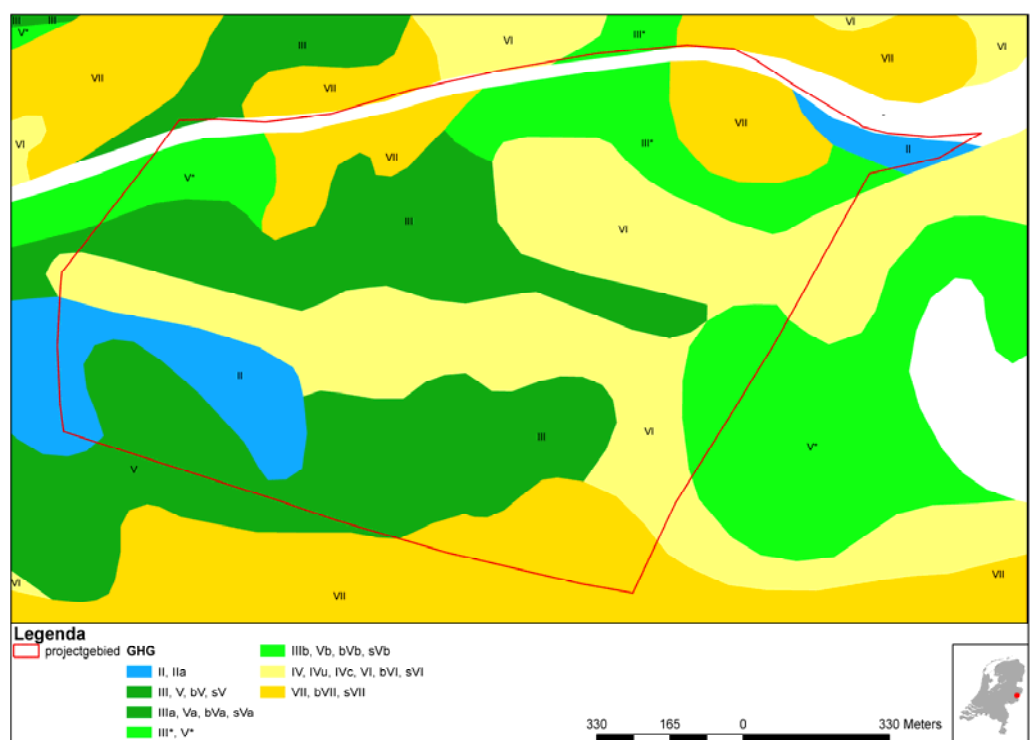
*Figuur 4 Bodemkaart 1 : 50 000 van het studiegebied en omgeving*



*Figuur 5  $K_{sat}$ -waarden bovenste bouwsteen ( $cm.d^{-1}$ ) van het projectgebied Lankbeet en omgeving*

Uit figuur 5 blijkt dat de variatie in de  $k_{\text{sat}}$ -waarde van de bovenste bouwsteen tussen de verschillende bodems gering is. Het is overigens bekend dat de aldus afgeleide waarden van de verzadigde doorlatendheid niet erg betrouwbaar zijn en meestal te lage waarden geven.

In figuur 6 is de grondwatertrappenkaart weergegeven. Ten zuiden van de Buurserbeek ligt een langwerpige strook met Gt II (oost) overgaand in III\* en vervolgens III. Ten zuiden daarvan ligt een strook met Gt VI en VII.



Figuur 6 Grondwatertrappenkaart van het projectgebied Lankheet en omgeving

Voor het kunnen bepalen van de geschiktheid van de proefpercelen om water niet alleen te kunnen laten infiltreren maar ook te kunnen draineren, zijn gegevens nodig over de doorlatendheid van het doorstroomde profiel. Om een beter idee te krijgen van de  $k_{\text{sat}}$ -waarden op het niveau van de grondwaterstand zijn een aantal boorgatmetingen verricht. Bij voldoende metingen geeft deze methoden een goede inschatting van de grootte en variatie in de  $k$ -waarden. In bijlage 2 worden de resultaten beschreven. De belangrijkste bevinding is dat kan worden uitgegaan van een  $k$ -waarde van  $1,5 \text{ m.d}^{-1}$ . Dit komt goed overeen met de waarden voor dekzand uit de literatuur.



## 2.4 Hydrologie

### Buurserbeek

De belangrijkste waterloop is de Buurserbeek, in beheer bij het waterschap Rijn en IJssel. In figuur 7 is de ligging weergegeven. De beek ligt ten noorden van het Landgoed. Ter plaatse wordt de Buurserbeek opgestuwd ten behoeve van de Oostendorper watermolen. Het molenpeil (streefpeil) bedraagt 25,40 m +NAP. Ter plaatse van de molen worden geen peilen geregistreerd of afvoeren gemeten.

Het dichtst bijzijnde meetpunt bovenstrooms de Oostendorper watermolen is de Reinkstuw.

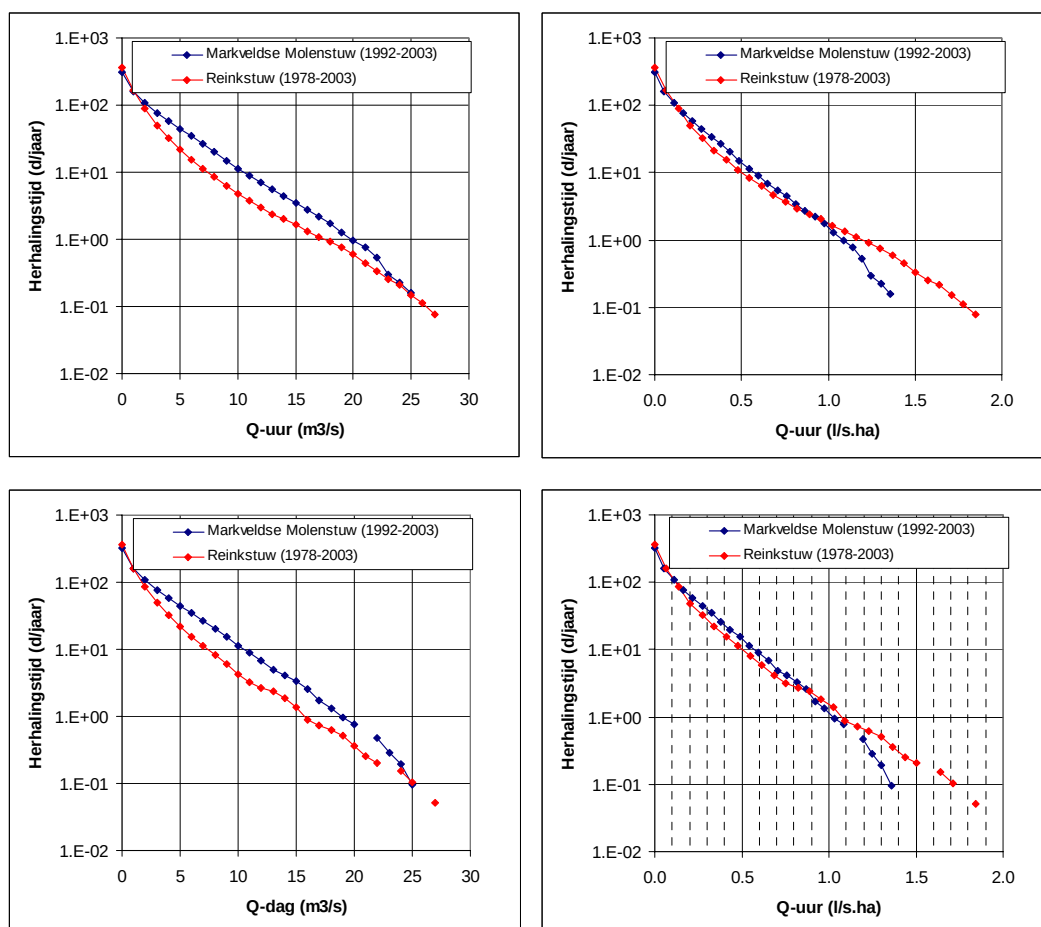


*Figuur 7 Oostendorper watermolen Buurserbeek (bron: [www.molenbase.nl](http://www.molenbase.nl))*



*Figuur 8 Markveldse molenstuw (links) en Reinkstuw (rechts) in Buurserbeek (bron: [www.wrij.nl](http://www.wrij.nl))*

Het dichtst bijzijnde meetpunt benedenstrooms is de Markveldse Watermolen. Zie figuur 8. Voor beide meetpunten zijn door Waterschap Rijn en IJssel herhalingstijden bepaald voor de afvoer. Figuur 9 geeft de resultaten.

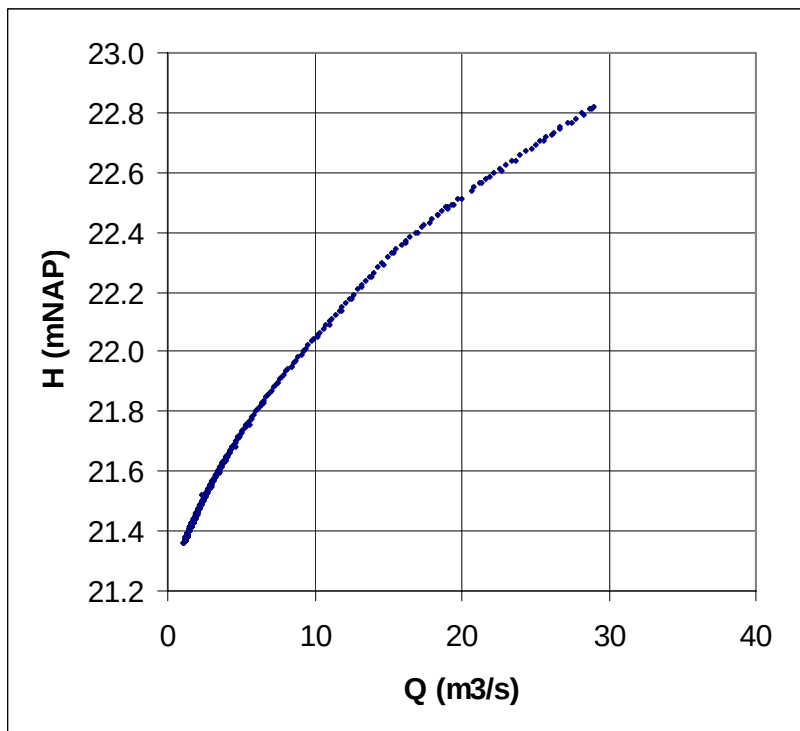


Figuur 9 Herhalingstijden van de afvoer bij de Reinkstuw en de Markveldse molenstuw op basis van uurdebiet (boven) en dagdebiet (onder) (bron: [www.nrij.nl](http://www.nrij.nl))

Voor de beekafvoer ter plaatse van de Reinkstuw zijn de volgende kengetallen afgeleid (gegevens beschikbaar gesteld door waterschap Rijn en IJssel):

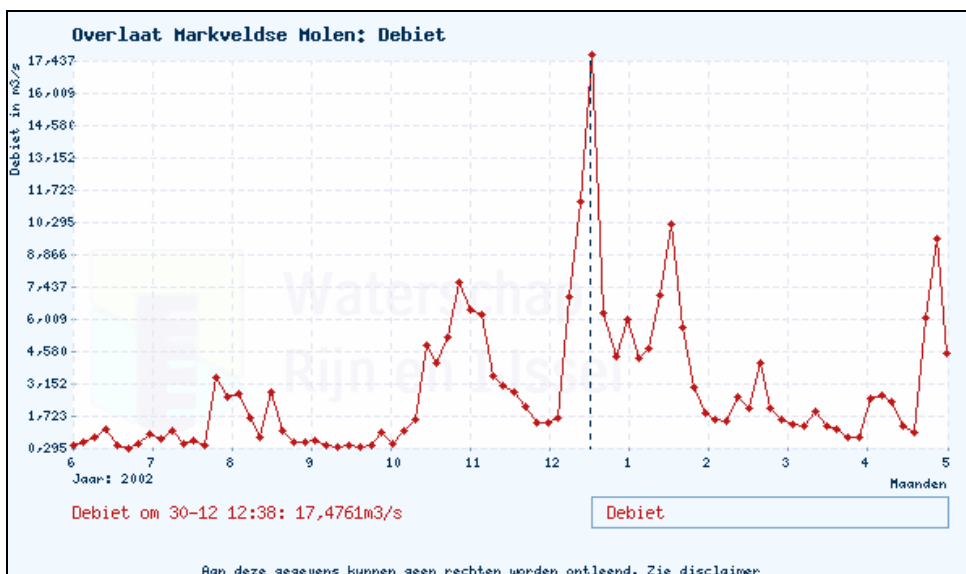
- maatgevende dag-gemiddelde afvoer =  $18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- maatgevende uur-gemiddelde afvoer =  $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- basisafvoer 100 d/j overschreden =  $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- basisafvoer 200 d/j per jaar overschreden =  $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- basisafvoer 300 d/j per jaar overschreden =  $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Op 1 km stroomafwaarts van de Oosterdorper watermolen ligt een vaste overlaat. De Q(h)-relatie (relatie tussen waterstand, h, en debiet, Q) benedenstrooms van deze overlaat is weergegeven in figuur 10 (eveneens beschikbaar gesteld door waterschap Rijn en IJssel).



Figuur 10  $Q(h)$ -relatie Buurserbeek 1 km stroomafwaarts van de Oosterdorper Watermolen

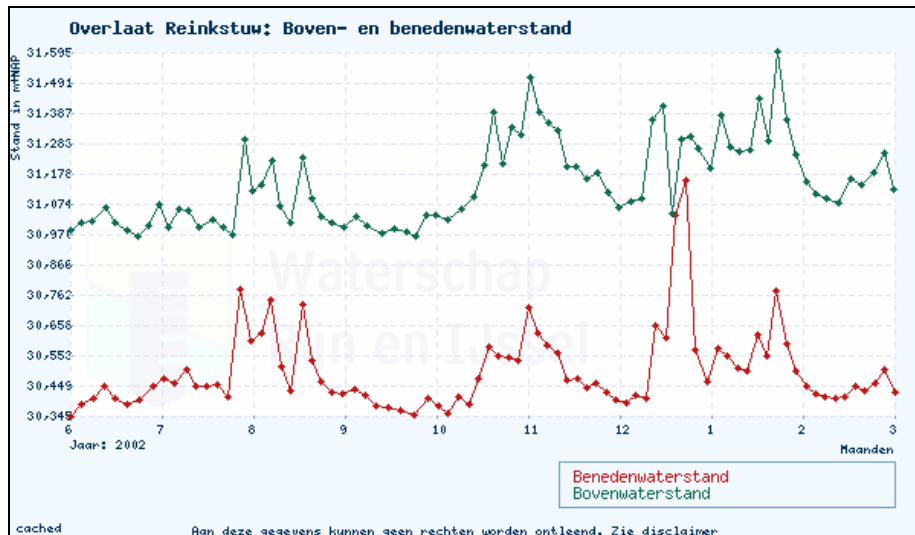
In figuur 11 is het uit de waterstandsregistratie afgeleide debiet van het meetpunt Markveldse molen rond de jaarwisseling 2003/2004 weergegeven. Deze figuur illustreert duidelijk de snelle reactie van de afvoer op hoge neerslagen.



Figuur 11 Afvoer bij Markveldse molenstuw (links) in de Buurserbeek rond de jaarwisseling van 2003/2004 (bron: [www.wrij.nl](http://www.wrij.nl))



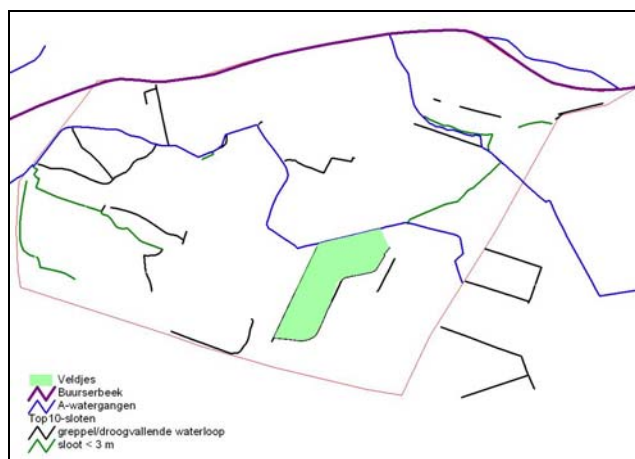
In figuur 12 is voor ongeveer dezelfde periode het verloop van de boven- en benedenstroomse waterstand bij de Reinkstuw weergegeven. Het benedenstroomse verloop is het meest relevant voor het onderhavige onderzoek. De waterstandsvariatie is op zijn minst 0,80 m. Hiermee moet bij de inrichting van de inlaatvoorziening rekening worden gehouden.



Figuur 12 Afvoer bij Markveldse molenstuw (links) en Reinkstuw (rechts) in de Buurserbeek rond de jaarwisseling van 2003/2004 (bron: [www.wrij.nl](http://www.wrij.nl))

## Waterlopen studiegebied

In figuur 13 zijn de belangrijkste waterlopen van het studiegebied weergegeven. Ook is de locatie van 3 percelen weergegeven die als geschikt voor inrichting van vloeivelden zijn aangemerkt. Indien deze van water moeten worden voorzien vanuit de Buurserbeek bovenstrooms van de Oosterdorper watermolen, moeten er nog wel enige aanpassingen plaats vinden in de inrichting.



Figuur 13 Belangrijke waterlopen in het studiegebied en directe omgeving (Bron: top10-vectorbestand).

### **3      Uitgangspunten en geografische geschiktheidsbeoordeling aan te leggen vloeivelden**

#### **3.1    Uitgangspunten voor de analyse**

Het algemene uitgangspunt is dat door aanpassing van de waterhuishouding van het studiegebied Lankheet er 3 hydrologische doelen moeten worden gediend. In volgorde van belangrijkheid:

- zuivering van water van de Buurserbeek, meer specifiek het reduceren van de concentraties N en P;
- waterberging ten tijde van hoge afvoeren van de Buurserbeek;
- verdrogingsbestrijding van het landgoed het Lankheet en omgeving.

Een tweede uitgangspunt is dat het systeem duurzaam moet zijn, hetgeen betekent dat de netto aanvoer van nutriënten (som van aan- en afvoer via water en afvoer via het riet) gemiddeld nul moet zijn.

#### **3.2    Hydrologische uitgangspunten voor de aanleg van vloeivelden**

Vloeivelden kunnen op 2 manieren worden aangelegd (Arts, 2003):

- het te zuiveren water stroomt over het maaiveld (type 1)
- het te zuiveren water infiltreert in de bodem en wordt na een verticale bodem-passage van zeg 1 m via drainbuizen of andere ontwateringsmiddelen afgevoerd (type 2).

##### **De hydrologische uitgangspunten voor de aanleg van type 1**

De waterdiepte op het veld is 30 cm, overeenkomend met  $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

De gemiddelde verblijftijd van het water moet groter zijn dan 5 dagen, in verband met de zuiverende werking.

Dit resulteert in een hydraulische belasting van  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Dit is een waterschijf van  $60 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ .

##### **De hydrologische uitgangspunten voor de aanleg van type 2**

Uitgangspunt is een verticale doorstroming van de grond waarin het riet wortelt.

Het benodigd areaal voor normale afvoer kan als volgt worden benaderd.

Stel verzadigde verticale doorlatendheid is  $1,0 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$  en de hydraulische gradiënt 0,2 m (20 cm over 1 m). Dit resulteert in debiet van  $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ , overeenkomend met 200 mm. Door inslibbing e.d. kan de verzadigde doorlatendheid lager worden. Door verhoging van de hydraulische gradiënt kan het doorstroomd debiet echter worden verhoogd.

Vanuit hydrologisch oogpunt is een infiltratie van  $100 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  een goede startwaarde die ook zuiveringstechnisch een goede waarde is. Dat betekent een aanvoer van  $1000^3 \cdot \text{d}^{-1}$  per ha. Als we uitgaan van een aanleg van 10 ha vloeivelden is  $10\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Dit komt neer op afgerond  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

### **3.3 Inperken zoekgebied op basis van hoogtecijfers en wegen**

Het zoekgebied voor maatregelen is beperkt tot dat gedeelte van het landgoed dat lager ligt dan waterstand in de Buurserbeek direct bovenstrooms van de Oostendorper watermolen. Deze waterstand is redelijk constant gedurende het jaar (met uitzondering van perioden met hoge afvoeren) en wordt geregeld op 25,40 m +NAP. Dus de 25,40 m hoogtelijn is de begrenzing, naar boven afgerond op 25,50 m +NAP. Met behulp van GIS-technieken is het zoekgebied bepaald. Zie Bijlage 3 voor het resultaat.

### **3.4 Geschiktheid voorgestelde percelen voor aanleg van vloeivelden**

#### **3.4.1 Geografische geschiktheid**

De 3 voorgestelde percelen zijn weergegeven in bijlage 4. Tevens is op deze kaart aangegeven een hoofdraai met daarbij behorend maaiveldshoogteverloop. In bijlage 5 zijn 3 dwarsraaien gegeven voor de 3 percelen. Hieruit is de conclusie te trekken dat in de aanvoerroute naar de percelen maximaal 10 cm verval mag optreden bij een aanvoerdebiet van  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Hierop zal de dimensionering van de aanvoerroute worden afgestemd, maar gelet op de te overbruggen afstand is dat geen probleem.

#### **3.4.2 Geschiktheid voor aanleg en werking buisdrainage**

Bij aanleg van type 2 stelt de beoogde drainage-intensiteit van 100 mm hoge eisen aan de drainagemogelijkheden. Met behulp van de boorgatenmethode is de verzadigde doorlatendheid vastgesteld van  $1,5 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ . Bij opgelegde eisen aan de maximale opbolling tussen de drains kan met behulp van de formules van Hooghoudt de drainafstand worden berekend. In bijlage 6 wordt hier nader op ingegaan. De uitkomst is dat een drainafstand van 3 m voldoet.

#### **3.4.3 Geschiktheid voor afvoer van gezuiverd water ten behoeve van infiltratie**

Bij aanleg van zuiveringsvloeivelden type 1 heeft het water dat de vloeivelden is gepasseerd minimaal ongeveer een stijghoogte gelijk aan het maaiveld van de proefpercelen na inrichting en kan dus gemakkelijk verder worden geleid via bestaande sloten.

Bij aanleg van zuiveringsvloeivelden type 2 zal de stijghoogte minimaal de hoogte van de drains hebben. Dat is ongeveer 1 m beneden bovengenoemd maaiveld. Voor de afvoer van dit water zal over een lengte van enkele honderden meters de afvoersloot of sloten moeten worden verdiept.

## 4 Zuiverende werking van de vloeivelden

### 4.1 Inleiding

De zuiverende werking van grond en/of water wordt voor een deel bepaald door de afbrekende en bindende eigenschappen van de te verwijderen stoffen en de bindende eigenschappen van het doorstroomd medium. In paragraaf 4.3 wordt daarover gerapporteerd. Daarnaast speelt de verblijftijd van het te zuiveren water een belangrijke rol. Daarbij gaat het om de gemiddelde verblijftijd en verblijftijdspreiding.

### 4.2 Verblijftijden

De gemiddelde verblijftijd is te vergroten door:

- vermindering doorstroomdebiet. Dit spreekt voor zich maar dan moeten er voor dezelfde zuiveringscapaciteit meer ha's worden aangelegd;
- Vergroten van de waterdiepte bij type 1. Deze worden bepaald door de eisen die de groei van het riet hieraan stelt.
- vergroten afgelegde weg in de grond bij type 2. Dit kan door de drains dieper te leggen en/of door de drains verder uit elkaar te leggen. Dieper aanleggen spreekt voor zich maar te diep aanleggen heeft consequenties voor de sloot waar de drains in uitmonden. Een maximaal haalbare diepte is 1,20 m. Verder uit elkaar leggen betekent dat de stroomlijnen van het water dieper doorbuigen waardoor meer grond bij de stroming wordt betrokken (zie figuur 14).

Voor de verblijftijdspreiding geldt: hoe minder spreiding hoe beter. De spreiding ontstaat door:

- voorkeursstromingen in het zuiveringsmoeras bij type 1;
- verschillen in doorlatendheid van de doorstroomde bodem. Gegeven de bodemopbouw en de resultaten van het veldonderzoek zijn de verschillen beperkt;
- verschillen in lengte van de stroomlijnen in de bodem. Een afschatting van de verschillen in afhankelijkheid van de drainafstand is al eerder gegeven. Hierbij geldt dus: hoe dichter bij elkaar hoe minder spreiding.

De spanning tussen gemiddelde en spreiding resulteert in een optimalisatieprobleem voor wat betreft de drainafstand. In bijlage 6 wordt hier nader op ingegaan met als resultaat een advies om de drains te leggen op 1 m diep en een onderlinge afstand van 3 m.

## 4.3 Mogelijkheden voor fosfaatberging in de bodem

### 4.3.1 P-balans

Een belangrijke vraag is of de bodem over voldoende capaciteit beschikt om de door de beek aangevoerde P-vracht in de niet productieve periode van het riet te kunnen bergen. Daartoe moet bij benadering bekend zijn wat de te bergen hoeveelheid P is en wat de beschikbare bergingscapaciteit is, waarbij de fosfaatuitspoeling naar de drains onder een gewenste norm blijft.

Op basis van beschikbare informatie is een balans gemaakt van de aanvoer van fosfaat via de beek en de afvoer via rietoogst. Deze balans is opgesplitst in de groeiperiode (mei-september), waarin het fosfaat wordt opgenomen door het gewas, en de rest van het jaar als het aangevoerde fosfaat in de bodem geborgen zou moeten kunnen worden.

Uitgegaan is van een jaarlijkse beekaanvoer van 400-700 kg P bij een debiet door de beekafkapping van  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Omgerekend komt dit neer op een P-concentratie van  $0,127\text{-}0,222 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Omdat wordt uitgegaan van een P-oogst van  $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  zou 8 resp. 14 ha toereikend zijn om de P-belasting te compenseren via een P-oogst. Uitgangspunt bij de balansberekeningen is een oppervlakte van de vloeivelden van 10 ha en een aanvoer van 400 kg P. Riet produceert slechts gedurende 4 maanden van het jaar biomassa.

Tabel 1 Balanstermen voor fosfaat

| Balansterm                       | mei-sept (4 mnd) | okt-mei (8 mnd) |
|----------------------------------|------------------|-----------------|
| P-aanvoer beekwater (kg/periode) | 133              | 267             |
| P-oogst (kg/10 ha)               | 500              |                 |
| P-ontrekking bodem (kg/10ha)     | 367              |                 |
| P-ontrekking bodem (kg/ha)       | 37               |                 |
| P-berging bodem (kg/10ha)        |                  | 267             |
| P-berging bodem (kg/ha)          |                  | 27              |

Tabel 1 geeft het overzicht van de balanstermen. In principe zou de bodem per jaar met  $(37\text{-}27) 10 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$  uitgemijnd kunnen worden als het winteroverschot aan P tot het volgende groeiseizoen zou kunnen worden geborgen in de bodem.

De hamvraag is nu of de bodem de capaciteit heeft voor een berging van ca.  $27 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ , dan wel dat dit overschot in de winter (gedeeltelijk) uitspoelt naar de drains en dan opnieuw stroomafwaarts de beek zal belasten.

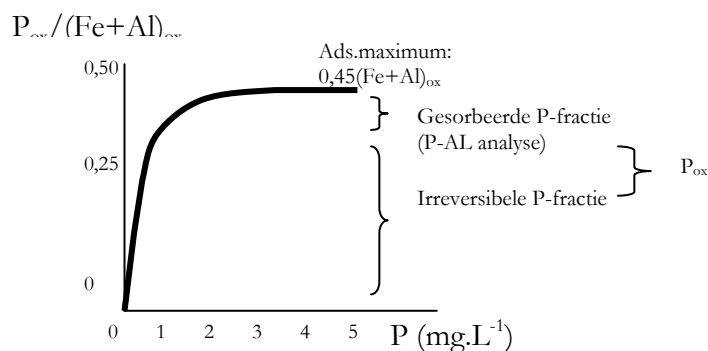
### 4.3.2 Fosfaatadsorptie in bodem

#### Theorie

Om te kunnen inschatten of fosfaatberging mogelijk is, moet de fosfaat-adsorptiecapaciteit en de actuele fosfaatverzadigingsgraad van de bodem bekend zijn. Hiertoe is informatie verzameld over het oxalaat-extraheerbare gehalte ijzer-, aluminium- en fosfaat. Algemeen wordt verondersteld dat het gehalte aan ijzer- en

aluminiumoxiden indicatief is voor de hoeveelheid fosfaat (P-oxalaat) die kan worden geadsorbeerd. Als maximale adsorptiecapaciteit voor kalkloze zandgronden wordt aangehouden:

$$P_{ox} = 0,45(Fe+Al)_{ox}$$



*Figuur 15 Langmuir-isotherm die het evenwicht weergeeft tussen geadsorbeerd en opgelost fosfaat*

Bij fosfaatadsorptie wordt een evenwicht verondersteld tussen geadsorbeerd P en P in de bodemvochttoplossing volgens een zgn. Langmuir-isotherm (zie Figuur 15). Belangrijk daarbij is dat het adsorptiegedrag van P in hoge mate niet-lineair is. In het verticale deel is voornamelijk sprake van gefixeerd fosfaat dat slechts langzaam via diffusie beschikbaar komt; in het horizontale deel is sprake van gesorbeerd fosfaat, dat gemakkelijk beschikbaar is.

#### *Monsternamen en bodemanalyses Lankheet*

In het terrein zijn per perceel op drie locaties bodemprofielen bemonsterd. Monsters werden voor zover aanwezig genomen uit A-, B- en C-horizonten. De locaties werden geselecteerd op basis van bodemkundige patronen, die werden gekarteerd met een schaal 1 : 5000. Door de proefvelden lopen twee zandruggen waarin zich een podzolprofiel heeft ontwikkeld. In de lagere delen hebben zich gooreerdgronden ontwikkeld. Om de fosfaatverzadiging vast te stellen zijn de monsters geanalyseerd op fosfaat ( $P_{ox}$ ), ijzer- $(Fe_{ox})$  en aluminiumoxide ( $Al_{ox}$ ). Daarnaast zijn de pH- $H_2O$  en het organisch stofgehalte bepaald. De fosfaatverzadiging is berekend als  $PSF = P_{ox} / (Fe+Al)_{ox}$ . In de literatuur wordt een  $PSF=0,45$  als maximale verzadiging aangehouden. Afhankelijk van adsorptie eigenschappen kan deze waarde variëren van 0,4 tot 0,5. Van dezelfde monsters is ook de P concentratie in het bodemvocht geanalyseerd door met water te schudden in een w/v verhouding 1:2. In eerste instantie werd geschud gedurende 24 uur met 75 omwentelingen per minuut. Dit leverde geen bevredigende resultaten. In tweede instantie is geschud gedurende 1 uur bij 130 rpm (Koopmans, 2004). De resultaten van de bodemchemische analyses zijn opgenomen in bijlage 7.

De fosfaatverzadiging en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht zijn gebruikt om per horizont een Langmuir-isotherm af te leiden. Deze isothermen geven de fosfaatadsorptiekenarakteristiek van de bodem weer. Uit deze karakteristiek kan het

adsorptiemaximum en de adsorptie- of bindingssterkte worden afgeleid. Deze karakteristiek is ook gebruikt om te kunnen vaststellen welke fosfaatverzadiging maximaal mogelijk is om een bepaalde P-norm in het drainwater niet te overschrijden. Daarbij is verondersteld dat de P-concentratie van het drainwater gelijk is aan de evenwichtsconcentratie in het bodemvocht.

#### *Adsorptiekarakteristiek Lankheet*

De relatie tussen de fosfaatverzadiging en P in oplossing van de monsters uit Lankheet is weergegeven in figuur 16. De monsters zijn onderverdeeld naar herkomst uit A-, B- resp. C-horizont. Daarnaast zijn data opgenomen (GK) van een desorptie-experiment van Koopmans met materiaal afkomstig van een P-verzadigde leemhoudende kalkarme zandgrond (podzol).

In tabel 2 zijn de parameterwaarden van de gefitte Langmuir-isotherm voor de verschillende horizonten weergegeven:  $Q_{\max}$  en K resp. de maximale fosfaatverzadigingsgraad en de evenwichtsconstante c.q. de bindingssterkte.

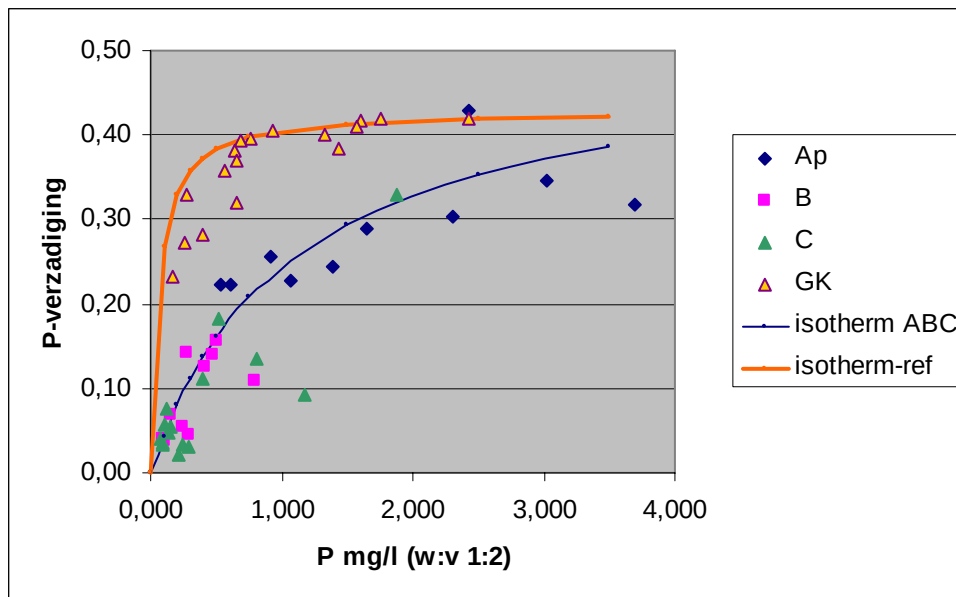
*Tabel 2 Fosfaatadsorptiekarakteristieken van de verschillende bodemhorizonten van de percelen*

| Horizont | $Q_{\max}$ | K     | $R^2$ |
|----------|------------|-------|-------|
| A        | 0,4026     | 1,793 | 55,1  |
| B        | 0,2050     | 2,96  | 50,6  |
| C        | 0,782      | 0,297 | 66,8  |
| ABC      | 0,5020     | 0,744 | 82,2  |

De resultaten blijken goed aan te sluiten bij de theorie: bij lage waarden van de P-verzadiging wordt de P-concentratie op een laag niveau gebufferd en naarmate de P-verzadiging stijgt, neemt de P-concentratie steeds sterker toe (zie figuur 16: isotherm-ref). De Langmuir-isotherm geeft voor de data van alle horizonten afzonderlijk een redelijk goede fit. Voor alle horizonten gezamenlijk wordt zelfs een uitstekende fit gevonden (82% verklaarde variantie). In figuur 16 is de voor alle horizonten gezamenlijk afgeleide isotherm weergegeven.

Uit de data kan worden afgeleid dat de gronden in Lankheet zich volgens de theorie gedragen en dat de maximale fosfaatbergingscapaciteit overeenkomt met 50% van het gehalte ijzer en aluminiumoxiden ( $P_{\text{ox}}/(Al+Fe)_{\text{ox}} = 0,5020$ ). Dit is dezelfde grootteorde als bij de data van Koopmans wordt gevonden. In tegenstelling tot de gronden die Koopmans onderzocht is de evenwichtsconstante van de gronden in Lankheet duidelijk lager. De sterkte waarmee fosfaat wordt geadsorbeerd in de bodem is gering. Het gevolg is dat de P-concentratie in het bodemvocht op een hoger niveau worden gebufferd. De gronden in Lankheet bezitten dus relatief slechte fosfaatbindende eigenschappen. Bij een lage fosfaatverzadiging komen nog steeds relatief hoge P-concentraties voor. De oorzaak hiervan kan zijn dat in vergelijking tot de data van Koopmans, de adsorptiecapaciteit van de monsters in Lankheet vrij laag is en de bodem leemarm.

De slechte fosfaatbindende eigenschappen kunnen zowel voordelig als nadelig zijn. Een nadeel is dat fosfaat slecht wordt gebufferd, een voordeel is dat de in de bodem geaccumuleerde fosfaatvoorraad relatief snel tot uitspoeling kan komen.



Figuur 16 De relatie tussen geadsorbeerd en opgelost fosfaat voor de bodemhorizonten in Lankbeet en de daaruit afgeleide Langmuir-isotherm in vergelijking tot gebruikte referentiegegevens van Koopmans (2004).

#### 4.3.3 Fosfaatbuffering

Om de P-bergingscapaciteit van de percelen te bepalen, is de fosfaatvoorraad bij de actuele fosfaatverzadiging per horizont bepaald en gesommeerd over het profiel tot 1 m diepte. Deze actuele voorraad is vergeleken met de voorraad bij een maximale fosfaatverzadiging, waarbij voor A-, B- en C-horizonten een maximale verzadigingsgraad van 0,5020 werd aangehouden (zie tabel 2 en isotherm). De hoeveelheid te bergen fosfaat werd berekend uit het verschil tussen de voorraad bij maximale verzadiging en de actuele voorraad. Negatieve verschillen (oververzadiging) konden worden gecompenseerd door onderverzadiging van onderliggende horizonten.

Naast een berekening van de maximale fosfaatberging, werd met de Langmuir-isotherm berekend welke fosfaatverzadiging nog juist acceptabel zou zijn om een evenwichtsfosfaatconcentratie in het bodemvocht te kunnen realiseren die voldoet aan een waterkwaliteitscriterium voor de P-concentratie in beekwater van 0,1 resp 0,2 mg.l<sup>-1</sup>. Uit de Langmuir-isotherm kan worden afgeleid dat aan deze waterkwaliteitscriteria kan worden voldaan indien in een verzadigingsgraad van 0,035 resp. 0,065 niet wordt overschreden.

Tenslotte werd voor alle drie scenario's een gewogen gemiddelde per perceel berekend. Daarbij werd het bodemkundige patroon, dat bij de bemonstering ter stratificatie werd gebruikt als uitgangspunt genomen om weegfactoren toe te kennen.



*Tabel 3* *Gevogen gemiddelden per perceel van de voorraad en bergingscapaciteit bij maximale fosfaatverzadiging en bij P-normen voor de kwaliteit van beekwater*

| Perceel | Actuele voorraad<br>(kg P.ha <sup>-1</sup> ) | Additionele bergingscapaciteit (kg P.ha <sup>-1</sup> ) |                                    |                            |
|---------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
|         |                                              | Bij max P-verzadiging                                   | Bij 0,2 mg.l <sup>-1</sup><br>norm | Bij 0,1 mg.l <sup>-1</sup> |
| 1       | 705                                          | 2218                                                    | -327                               | -502                       |
| 2       | 929                                          | 1952                                                    | -556                               | -728                       |
| 3       | 658                                          | 1246                                                    | -411                               | -525                       |

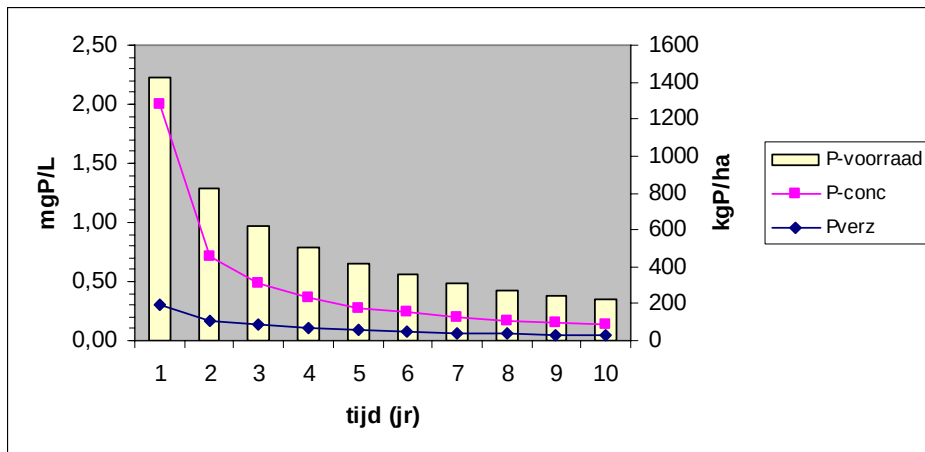
Uit tabel 3 kan worden geconcludeerd dat in alle drie percelen nog lang geen sprake is van een maximale P-verzadiging en dat een berging van 27 kg.ha<sup>-1</sup> per jaar in principe mogelijk is. Echter, daarbij zullen in het bodemvocht P-concentraties ontstaan die zeer veel hoger zijn dan in het te inunderen beekwater aanwezig zijn. De bodem zal dus fosfaat lekken als de maximale fosfaatbergingscapaciteit wordt benut. De tabel 3 laat tevens zien dat beide P-normen voor de waterkwaliteit in geen van de percelen is te realiseren, omdat daarbij een negatieve berging optreedt. De bodems zullen dus eerst een flinke hoeveelheid fosfaat moeten zijn kwijtgeraakt voordat deze normen zijn te realiseren.

#### 4.3.4 Enkele scenario's

##### *Doorspoelen van gronden*

De slechte adsorptie-eigenschappen van de bodems impliceren dat fosfaat gemakkelijk lijkt te kunnen desorberen en uitspoelen. Ter oriëntatie is berekend welke periode benodigd is om de A-horizonten te laten uitspoelen totdat een evenwichtsconcentratie is bereikt die voldoet aan de kwaliteitsnorm voor beekwater van 0,2 resp. 0,1 mg P.l<sup>-1</sup>. Daarbij is de Langmuir-isotherm van de ABC-horizont als uitgangspunt gekozen. Er is uitgegaan van een initiële fosfaatverzadigingsgraad van 0,30 en een jaarlijkse infiltratie flux die ontstaat bij een beekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> per 10 ha. Rekening werd gehouden dat de uitspoeling weer deels werd gecompenseerd door de beekaanvoer van P van 27 kg.jr<sup>-1</sup>.

Figuur 17 laat zien dat in 10 jaar tijd bij een beekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> de fosfaatvoorraad in de A-horizont door desorptie en uitspoeling zal zijn afgenomen van 1426 tot 223 kg.ha<sup>-1</sup>. De fosfaatverzadigingsgraad is dan gedaald van 0,30 tot 0,05. De evenwichtsconcentratie in het bodemvocht is dan gedaald van 2,0 tot 0,14 mg.l<sup>-1</sup>. Na ca 7 jaar is de concentratie gedaald onder de kritische norm van 0,2 mg.l<sup>-1</sup>. Uit de vorm van de Langmuir-isotherm kan worden afgeleid dat in de niet doorgerekende periode na 10 jaar de desorptie en uitspoeling steeds langzamer gaan verlopen.



Figuur 17 Verloop van de fosfaatvoorraad, de fosfaatverzadiging en de fosfaatconcentratie bij een infiltratie-flux van  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  per 10 ha

#### Afgraven en doorspoelen

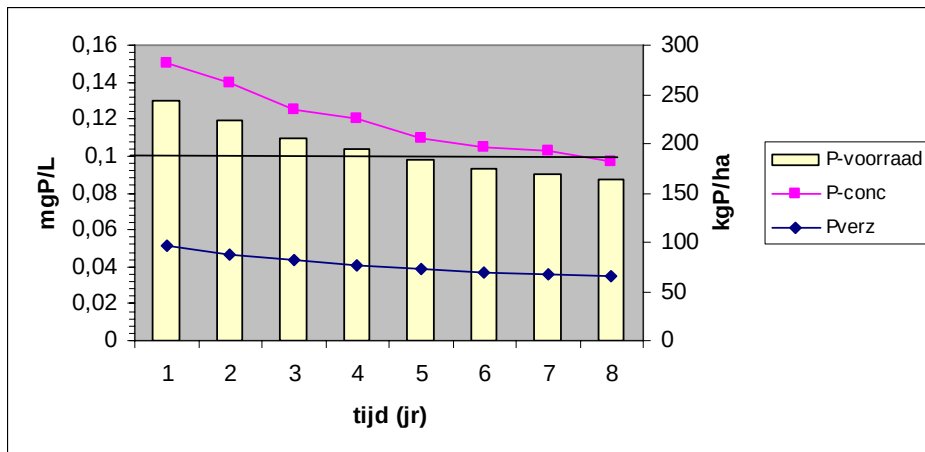
Tenslotte is op analoge wijze berekend welk effect het afgraven van de A-horizont op de fosfaatberging en uitspoeling heeft.

Tabel 4 Gemiddelden van voorraden, bergingscapaciteit na afgraven A-horizont (20-30 cm)

| Perceel | Actuele voorraad (kgP/ha) | Additionele bergingscapaciteit (kgP/ha) |                    |               |
|---------|---------------------------|-----------------------------------------|--------------------|---------------|
|         |                           | Bij max P-verzadiging                   | Bij 0,2 mgP/L norm | Bij 0,1 mgP/L |
| 1       | 262                       | 1834                                    | 9                  | -116          |
| 2       | 295                       | 1539                                    | -58                | -167          |
| 3       | 220                       | 961                                     | -67                | -138          |

Tabel 4 laat zien dat ook na afgraven nog te veel P in de bodem aanwezig is om aan de P-norm van  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  in het bodemvocht te kunnen voldoen.

Figuur 18 geeft een soortgelijke berekening aan als bij figuur 17, maar dan uitgaande van P-voorraad en de P-verzadigingsgraad van de B/C horizont na afgraving van de A-horizont. Ook hier is de berekende Langmuir-isotherm gebruikt. Volgens de berekening met de isotherm, die uiteraard een gemiddeld beeld representeert, is na afgraving een P-concentratie in het drainwater te verwachten die onder de P-norm van  $0,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  ligt. Na ca. 8 jaar kan dan zelfs de 0,1 norm worden onderschreden.



Figuur 18 Verloop van de fosfaatvoorraad, de fosfaatverzadiging en de fosfaat concentratie bij een infiltratie-flux van  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  per 10 ha na afgraven van de A-horizont.

#### 4.3.5 Kinetiek en anaërobie

Over de reactiekinetiek bij de voorgestelde hoge infiltratiefluxen is vrijwel niets bekend. Het is niet bekend hoe snel de evenwichten zich instellen. Ook is nog weinig bekend over de beïnvloeding van de adsorptie/desorptiekinetiek in ijzerarme gronden door vernatting. Beide aspecten zouden nader onderzoek vragen.

#### 4.3.6 Conclusies

De resultaten van het onderzoek naar fosfaatbindende eigenschappen van de proefpercelen op het landgoed het Lankheet zijn als volgt samen te vatten:

- uit het bodemchemisch onderzoek is gebleken dat de onderzochte bodems slechte fosfaatbindende eigenschappen hebben;
- de maximale fosfaatverzadigingsgraad ( $\alpha$ ) van de verschillende horizonten bedraagt 0,50 maal het gehalte aan oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium en stemt goed overeen met wat theoretisch verwacht mocht worden;
- op de onderzochte locaties is de A-horizont niet fosfaatverzadigd en varieert de actuele fosfaatverzadigingsgraad ( $\alpha$ ) tussen 0,22 en 0,32;
- de B/C horizonten zijn sterk onderverzadigd;
- door de slechte fosfaatbindende eigenschappen komen bij een relatief lage graad van fosfaatverzadiging hoge fosfaatconcentraties voor in alle bodemhorizonten;
- de bodems bevatten in principe nog voldoende buffercapaciteit om een belasting van  $27 \text{ kgP} \cdot \text{ha}^{-1}$  (beekaanvoer buiten groeiseizoen) tijdelijk te bufferen. Daartegenover zal de fosfaatevenwichtsconcentratie in het bodemvocht en het drainwater echter hoger worden dan de fosfaatconcentratie in het aangevoerde beekwater;
- er kan geen fosfaat meer worden geborgen als een waterkwaliteitsnorm van het drainwater van 0,2 of  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  wordt nagestreefd. Zelfs een milde norm van 0,2

mg.l<sup>-1</sup> in het drainwater is niet te realiseren omdat bij de actuele fosfaatverzadiging al een hogere fosfaatevenwichtsconcentratie in het bodemvocht aanwezig is;

- zonder afgraven zal door uitspoeling na 7 jaar de fosfaatverzadiging in de A-horizonten zover gedaald zijn dat het drainwater voldoet aan een norm van 0,2 mg.l<sup>-1</sup> Na 10 jaar wordt een P-concentratie van 0,14 mg.l<sup>-1</sup> bereikt;
- na afgraving van de A-horizont is de fosfaatbuffercapaciteit van de ondergrond nog steeds te gering om een P-norm van 0,1 mg.l<sup>-1</sup> in het drainwater te kunnen realiseren;
- op termijn van 1 jaar na afgraven zal door desorptie en uitspoeling een fosfaatverzadigingsgraad van de bodem zijn bereikt waarbij een waterkwaliteitsnorm in het drainwater van 0,2 mg.l<sup>-1</sup> water kan zijn bereikt;
- op termijn van ongeveer 8 jaar na afgraven zal door desorptie en uitspoeling een fosfaatverzadigingsgraad van de bodem zijn bereikt waarbij een waterkwaliteitsnorm in het drainwater van 0,1 mg.l<sup>-1</sup> water kan zijn bereikt;
- de effecten van vernatting en hoge infiltratiefluxen op het fosfaatadsorptiegedrag zijn niet bekend. Ook hiertoe zou nader onderzoek wenselijk zijn;



## 5 Combinatie met waterberging en verdrogingsbestrijding

Naast de zuivering van het beekwater zijn 2 belangrijke andere waterbeheerdoelen die zo mogelijke bediend moeten worden: waterberging en verdrogingsbestrijding.

### *Waterberging*

Tijdens perioden met extreem hoge afvoeren van de Buurserbeek stijgt het water voor de watermolen aanzienlijk. Een indicatie is 0,8 m in 3 dagen (zie ook figuur 12). Deze verhoging kan ook maximaal worden doorgevoerd op de vloeivelden maar een reductie tot een 0,5 m is wellicht realistischer. Het betekent wel dat bijv. in 3 dagen de waterstand in de vloeivelden stijgt met 0,5 m. Het benodigde extra debiet is  $50\,000\text{ m}^3$ . Per dag is dat zeg  $18.000\text{ m}^3$ ; de dubbele hoeveelheid van het infiltratiedebiet. Maar in hydraulische zin is dat geen probleem want de aanvoerleiding is uit het oogpunt van minimaal verval ruim gedimensioneerd (verval van 30 cm in plaats van 10 cm)

Het landgoed het Lankheet leent zich goed voor realisatie van het idee van een beekbarrage. Maar niet ter plekke van de vloeivelden maar meer het noordwestelijke deel van het zoekgebied. De oppervlakte beneden de 24,00 m+NAP-hoogtelijn in het zoekgebied is ca. 50 ha. Stel gemiddeld maaiveldshoogte c.q. open waterstand voor aanvang van de afvoergolf op 23,50 m +NAP. Daarop kan minimaal 1 m water worden geborgen, overeenkomend met  $500\,000\text{ m}^3$ . Dit concept is overigens niet in overeenstemming met de ideeën van het waterschap voor piekreductie. Zij zien een beek voor zich die door het landgoed meandert zonder stuwende kunstwerken en alleen bij hogere afvoeren treedt inundatie op. De 2 percepties zijn wellicht te combineren. Dus op het eind van het traject door het landgoed een extra belemmering waardoor in een deel van het gebied een ‘ademende’ plas ontstaat die wordt gevoed door een meanderende beek die ook kan overstromen omdat hydraulische capaciteit beperkt is.

### *Verdrogingsbestrijding*

De aanleg van vloeivelden draagt op 2 manieren bij aan de verdrogingsbestrijding:

- door de geïnduceerde voeding van het regionaal grondwatersysteem met een grootte orde van  $500\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$  (zie bijlage 6; nadere onderbouwing volgt uit nog uit te voeren SIMGROmodelberekeningen);
- door het laten infiltreren van het de vloeivelden gepasseerde water verder benedenstrooms waar, gezien het verval in het maaiveld, het binnen enkele honderden m's weer boven maaiveld kan worden geleid en tot infiltratie worden gebracht.

De prijs die daarvoor moet worden betaald is dat benedenstrooms van de watermolen het beekdebiet afneemt met  $0,1\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ . Gelet op de sterk drainerende werking van het beekdeel direct benedenstrooms van de watermolen (die nog toeneemt als de grondwaterstand in Lankheet wordt verhoogd) wordt dit niet als problematisch gezien. Dit dient echter wel bij het waterschap te worden getoetst.



## **6 Conclusies en aanbevelingen**

### **6.1 Conclusies**

In het landgoed het Lankheet doet zich de gelegenheid voor vloeivelden aan te leggen voor zuivering van beekwater, terwijl het gezuiverde beekwater kan dienen voor herstel van het watersysteem. Ook kunnen de vloeivelden eventueel worden ingezet voor reductie van piekafvoeren. In dit rapport is op basis van bestaande gegevens en beperkt veldonderzoek onderzocht of dit gebied zich leent voor realisatie van deze innovatieve bijdrage aan de oplossing van de wateropgaven.

Met betrekking tot de hydrologische geschiktheid zijn de volgende conclusies te trekken:

- door het relatief groot verval in de Buurserbeek en de aanwezigheid van een flinke opstuwung bij de Oostendorper watermolen kan beekwater onder vrij verval naar de aan te leggen vloeivelden en weer terug in de beek worden geleid, waarbij het grootste gedeelte van het landgoed als zoekgebied kan dienen;
- de geohydrologische en bodemkundige opbouw van het studiegebied is geen belemmering voor uitvoering van het experiment;
- de doorlatendheid van de ondergrond is beperkt waardoor de weglekking uit de vloeivelden ook beperkt zal zijn;
- door de beperkte doorlatendheid van de ondergrond is de infiltrerende hoeveelheid water voor verdrogingsbestrijding beperkt, maar zijn de mogelijkheden van grondwaterstandsverhoging daardoor wel groot;
- vloeivelden kunnen een (bij de aangenomen oppervlaktes beperkte) bijdrage leveren aan de reductie van piekafvoeren.

Voor de bodemchemische geschiktheid zijn de volgende conclusies te trekken:

- de onderzochte bodems hebben slechte fosfaatbindende eigenschappen;
- de onderzochte gronden zijn de A-horizonten niet fosfaatverzadigd en zijn de B/C-horizonten sterk onderverzadigd;
- door de slechte fosfaatbindende eigenschappen zijn de mogelijkheden om het drainwater onder geaccepteerde kwaliteitsnormen te krijgen, beperkt.

### **6.2 Aanbevelingen**

De aanbevelingen zijn:

- door middel van het bouwen van een regionaal hydrologisch model de hydrologische geschiktheid van het gebied voor herstel van watersysteem door middel van vloeivelden beter te onderbouwen. Dit model kan tevens dienen om resultaten te produceren die goed communiceerbaar zijn en kunnen dienen voor duiding van de meetresultaten;
- door middel van bijhouden van de water- en stoffenbalans van de aan te leggen vloeivelden de hydrologische en zuiverende werking van vloeivelden op



- praktijkschaal te onderzoeken en via modelberekeningen te extrapoleren naar regionale toepassing;
- nader onderzoek te doen naar de effecten van vernatting en hoge infiltratiefluxen op het fosfaatadsorptiegedrag.

## Literatuur

- Arts, G.H.P., 2001. *Ecologische aspecten van bufferstroken langs watergangen: veld- en laboratoriumexperimenten*. STOWA, Utrecht.
- Aelmans, F.G., 1974. *Grondwaterkaart van Nederland. Geohydrologische toelichting bij kaartbladen 28 Oost Almelo, 29 Denekamp en 34 Oost Enschede en Glanerbrug*. DG-TNO, Delft.
- Berg, M.W. van den, C.J. van Houten en C. den Otter, 2000. *Geologische kaart van Nederland 1 : 50 000. Blad Enschede West (34 W) en Enschede Oost/Glanerbrug (34O/35)*. NITG TNO, Utrecht.
- Stiboka, 1979. *Bodemkaart van Nederland. Schaal 1 : 50 000. Toelichting bij de kaartbladen 34 West Enschede en 34 Oost Enschede - 35 Glanerbrug*. Wageningen.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Rapport 2055, Stiboka, Wageningen.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra-rapport 153, Wageningen.
- Koopmans, G.F., 2004. *Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils*. Wageningen University and Research Centre. Ph. D. Wageningen.



## Bijlage 1 Boringen in de omgeving Lankheet die wel of niet het topsysteem doorboren, met geschatte kD-waarde op basis van boorgegevens

|                      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X_coördinaat         | 245950    | 245690    | 246010    | 245680    | 245660    | 245680    | 246660    | 246340    | 246310    | 246320    |
| Y_coördinaat         | 461335    | 460860    | 460990    | 461320    | 461030    | 461650    | 461030    | 461050    | 461310    | 461710    |
| Topsysteem doorboord | ja        | neen      | neen      | neen      | neen      | neen      | neen      | neen      | neen      | neen      |
| Dikte laag 1 (m)     | 15,03     | 4,00      | 0,80      | 0,40      | 0,20      | 0,60      | 0,30      | 0,50      | 0,30      | 0,20      |
| Materiaal laag 1     | Grof zand | Fijn zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand |
| Dikte laag 2 (m)     | 99        | 99        | 2,60      | 3,60      | 3,80      | 0,60      | 1,10      | 3,50      | 3,70      | 0,60      |
| Materiaal laag 2     |           |           | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand |
| Dikte laag 3 (m)     |           |           | 0,10      | 99        | 99        | 1,00      | 0,40      | 99        | 99        | 1,40      |
| Materiaal laag 3     |           |           | Grof zand |           |           | Grof zand | Grof zand |           |           | Grof zand |
| Dikte laag 4 (m)     |           |           | 0,50      |           |           | 0,20      | 2,20      |           |           | 1,20      |
| Materiaal laag 4     |           |           | Fijn zand |           |           | Fijn zand | Fijn zand |           |           | Fijn zand |
| Dikte laag 5 (m)     |           |           | 99        |           |           | 1,20      | 99        |           |           | 0,60      |
| Materiaal laag 5     |           |           |           |           |           | Grof zand |           |           |           | Grof zand |
| Dikte laag 6 (m)     |           |           |           |           |           | 0,40      |           |           |           | 99        |
| Materiaal laag 6     |           |           |           |           |           | Fijn zand |           |           |           |           |
| kD totaal            | 225       | 2         | 15        | 8         | 5         | 43        | 12        | 10        | 7         | 34        |

|                      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X_coördinaat         | 246660    | 246700    | 246010    | 246020    | 247010    | 245300    | 245490    | 245340    | 245270    |
| Y_coördinaat         | 461630    | 461330    | 461320    | 461680    | 461660    | 460990    | 461710    | 460990    | 461420    |
| Topsysteem doorboord | neen      | neen      | neen      | neen      | neen      | ja        | ja        | neen      | neen      |
| Dikte laag 1 (m)     | 0,30      | 0,10      | 0,20      | 0,20      | 0,70      | 9,38      | 6,00      | 3,20      | 0,50      |
| Materiaal laag 1     | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Fijn zand | Grof zand |
| Dikte laag 2 (m)     | 0,70      | 1,30      | 1,30      | 1,20      | 1,40      | 99        | 1,50      | 0,80      | 0,80      |
| Materiaal laag 2     | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand | Fijn zand |           | Klei      | Grof zand | Fijn zand |
| Dikte laag 3 (m)     | 0,80      | 1,00      | 2,50      | 0,90      | 0,10      |           | 0,06      | 99        | 0,50      |
| Materiaal laag 3     | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand | Grof zand |           | Grof zand |           | Grof zand |
| Dikte laag 4 (m)     | 0,90      | 1,60      | 99        | 1,70      | 1,80      |           | 99        |           | 0,30      |
| Materiaal laag 4     | Fijn zand | Fijn zand |           | Fijn zand | Fijn zand |           |           |           | Fijn zand |
| Dikte laag 5 (m)     | 0,10      | 99        |           | 99        | 99        |           |           |           | 1,90      |
| Materiaal laag 5     | Grof zand |           |           |           |           |           |           |           | Grof zand |
| Dikte laag 6 (m)     | 1,20      |           |           |           |           |           |           |           | 99        |
| Materiaal laag 6     | Fijn zand |           |           |           |           |           |           |           |           |
| kD totaal            | 20        | 18        | 41        | 18        | 8         | 94        | 61        | 8         | 29        |



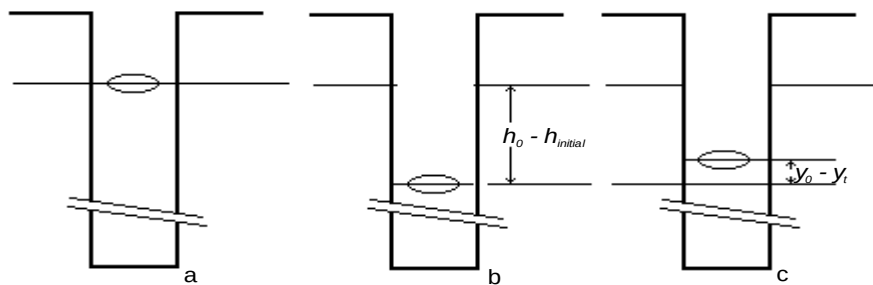
## Bijlage 2 Boorgatmetingen

### *Inleiding*

Een belangrijke factor voor de infiltratie van water en de waterstroming door de bodemlagen naar de drains is de doorlaatfactor van deze bodemlagen ter hoogte van het grondwatervlak. Om de doorlaatfactor te bepalen zijn in het proefgebied zogenaamde boorgatmetingen uitgevoerd.

### *Methode*

Bij boorgatmetingen wordt met de grondboor, gebruikte diameter is 8 cm, een gat geboord tot enkele decimeters onder de grondwaterspiegel. Om inzakken van het boorgat tegen te gaan wordt een metalen filterbuis in het boorgat geplaatst. Naast het boorgat wordt een meetbandhouder geplaatst, bestaande uit een statief waarop een meetband is bevestigd met daaraan een vlotter. De vlotter wordt in het boorgat neergelaten. Ten opzichte van een vast referentiepunt op de meetbandhouder is de waterstand af te lezen. Daarna wordt gewacht totdat de grondwaterstand in het boorgat in evenwicht is met de omgeving. Vervolgens wordt een hoeveelheid water uit het boorgat gepulst, en wordt de stijgsnelheid van het water in het boorgat gemeten (figuur B2.1).



*Figuur B2.1 Meetinterval; a: initiële grondwaterstand voorafgaand aan het pulsen, b: situatie direct na het pulsen, en c: einde meting*

Uit de verzamelde metingen is vervolgens een k-waarde af te leiden. Naast de methode waarbij water aan het boorgat wordt onttrokken, wordt een andere methode gehanteerd waarbij water in het boorgat wordt gegoten om vervolgens de zakkingsnelheid van het water te meten, dit is de zogenaamde omgekeerde boorgatmethode. In figuur B2.2 is de meetopstelling tbv boorgatenmethode weergegeven.



*Figuur B2. 2 Opstelling tbn de boorgatmeting, puls (achtergrond) met meetbandhouder (statief en meetband)*

In het proefgebied liggen drie velden die op korte termijn zullen worden ingericht om water te bergen en te zuiveren. Op elk veld zijn op drie locaties boorgatmetingen verricht. In figuur B2.3 zijn de meetlocaties weergegeven.





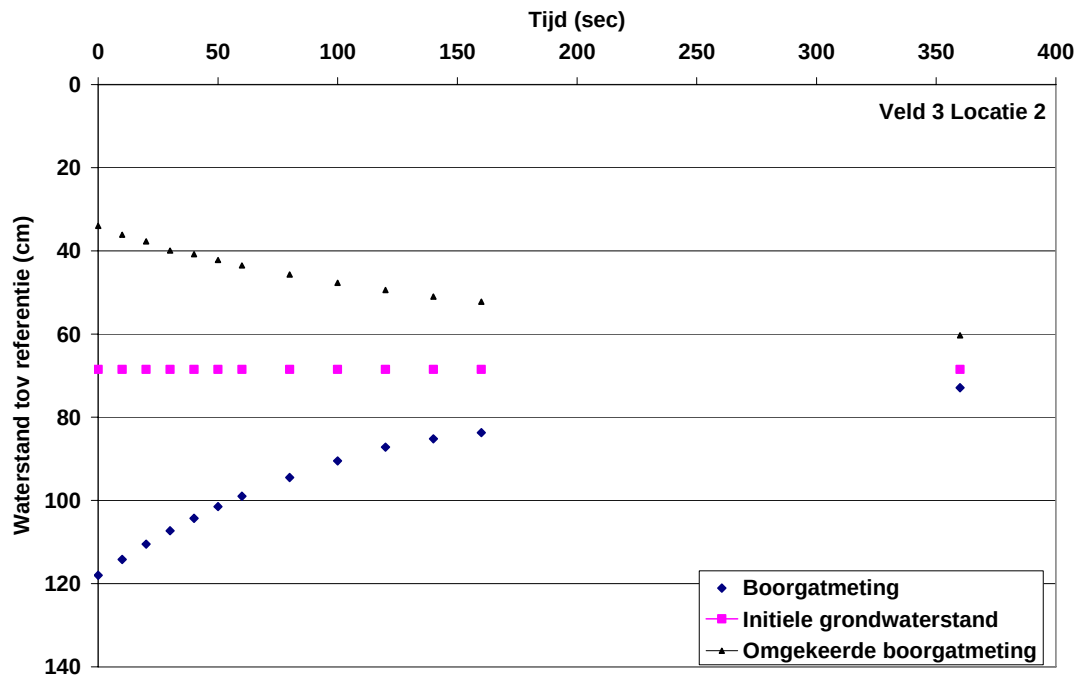
*Figuur B2. 3 Locatie boorgatmetingen*

## **Resultaten**

De metingen in het veld zijn uitgevoerd op 25 maart 2004 op het landgoed het Lankheet tussen Eibergen en Haaksbergen, ten zuiden van de Buurserbeek. Bij de metingen wordt ervan uitgegaan dat grondwaterstand bij aanvang van de proef in evenwicht is met de omgeving. Gezien de beschikbare tijd is niet altijd gewacht tot het moment dat er evenwicht is. Voor een aantal locaties is naast de gewone boorgatmeting de omgekeerde boorgatmeting uitgevoerd. Uit de uitzakkingscurves van beide metingen is de evenwichtsgrondwaterstand te schatten, voor deze locaties blijkt de evenwichtsgrondwaterstand overwegend enkele centimeters te laag te zijn ingeschat (figuur B2.4). Bij het pulsen bestaat de kans dat bodemmateriaal wordt



meegepulst en daarmee het boorgat wordt verdiept. Om de invloed van beide effecten in te schatten zijn berekeningen uitgevoerd waarbij is uitgegaan dat de initiële grondwaterstand 10 cm hoger is dan de gemeten stand bij start van de proef.



Figuur B2. 4 Uitzakking bij boorgat en omgekeerde boorgatmeting ter plaatse van veld 3 locatie 2

Ook voor de diepte van het boorgat is berekend wat het effect is op de k-waarden als het boorgat door het pulsen 10 cm is verdiept. In tabel B2.1 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel B2.1 Resultaten boorgatmetingen

| Locatie               | $k_{\text{gem}}(\text{m.d}^{-1})$ |                                 |                      |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|
|                       | Meting                            | Initiële grondwaterstand +10 cm | Bodem boorgat +10 cm |
| Veld 1 Locatie 1      | 1,56                              | 1,06                            | 1,39                 |
| Veld 1 Locatie 2 nr 1 | 1,00                              | 0,71                            | 0,91                 |
| Veld 1 Locatie 2 nr 2 | 1,82                              | 1,46                            | 1,59                 |
| Veld 1 Locatie 3      | 2,52                              | 2,08                            | 2,23                 |
| Veld 2 Locatie 1      | 1,78                              | 1,40                            | 1,59                 |
| Veld 2 Locatie 2      | 1,50                              | 1,15                            | 1,32                 |
| Veld 2 Locatie 3      | 1,84                              | 1,45                            | 1,73                 |
| Veld 3 Locatie 1      | 2,33                              | 1,82                            | 2,01                 |
| Veld 3 Locatie 2      | 2,19                              | 1,71                            | 1,98                 |
| Veld 3 Locatie 3      | 2,10                              | 1,64                            | 1,85                 |
| Gemiddelde            | 1,86                              | 1,45                            | 1,66                 |
| Standaard deviatie    | 0,45                              | 0,40                            | 0,39                 |

De gemiddelde  $k$ -waarde bedraagt 1,86 m.d-1, en varieert tussen 1,0 en 2,5 m.d-1, rekening houdend met het niet bereiken van evenwichtsituatie bij aanvang metingen en verdieping boorgat als gevolg van het pulsen zou deze waarde enigszins naar beneden bijgesteld dienen te worden. Voor berekeningen kan daarom het beste worden uitgegaan van een  $k$ -waarde van 1,5 m.d-1, deze komt goed overeen met de verwachtingswaarde op basis van andere studies. Volgens de geologische kaart betreft het materiaal dekzanden (zeer fijn- en matig fijn- en matig grof zand, plaatselijk met leem- en/of veenlagen dikker dan 2 m.

De omgekeerde boorgatmeting, die slechts op vier locaties is uitgevoerd, levert geen bruikbare  $k$ -waarden op. Voorafgaand aan de meting dient de bodem rond het boorgat voldoende te worden verzadigd. Voor het uitvoeren van de metingen in het veld is de waterinhoud van 1 emmer in het boorgat gegoten. Uit de metingen blijkt dat dit onvoldoende is. De gevonden  $k$ -waarden op basis van de eerste metingen zijn vele malen groter dan bij de gewone boorgatenmethode en nemen vervolgens sterk af. De afgeleide  $k$ -waarden na ruim 5 minuten meten beginnen de  $k$ -waarden bepaald met de eerste methode te benaderen.

### **Aanbevelingen**

Om de initiële grondwaterstand correct in te schatten kan worden overwogen om de metingen over twee dagen te spreiden. Op dag 1 worden dan op alle te meten locaties boorgaten gemaakt. De volgende dag is er evenwicht tussen de grondwaterstand in het boorgat en de omgeving. Omdat meestal onvoldoende filters beschikbaar zijn, en in zandgronden het boorgat veelal dicht loopt, dient een nieuw boorgat te worden gemaakt. Dit kan op kort afstand van het bestaande boorgat. Een tussenoplossing is het gebruik van meerdere filters, waarbij eerst meerdere gaten worden voorgeboord, en vervolgens metingen worden gedaan. Deze aanpak biedt de mogelijkheid de metingen op dezelfde dag uit te voeren (tijdwinst) en per boorgat is meer tijd beschikbaar om de initiële grondwaterstand vast te stellen.

Het probleem van het meepulsen van zand kan worden voorkomen door het filter aan de onderzijde eveneens van filtergaas te voorzien.

Bij toepassing van de ongekeerde boorgatenmethode dient de bodem rondom het boorgat verzadigd te zijn, door het gat verscheidene malen met water te vullen.

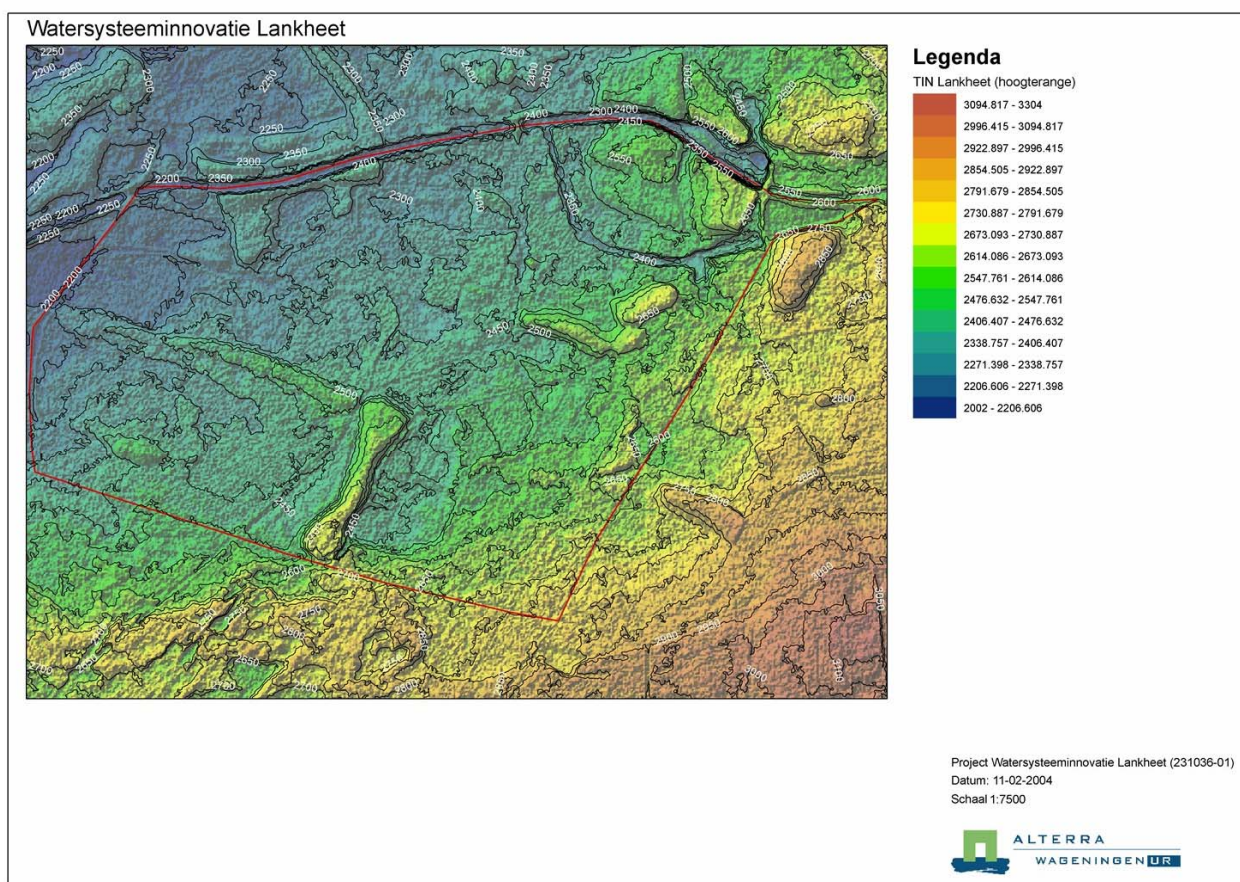
### ***Literatuur***

Diktaat veldpracticum *WUR Chapter 4 Groundwater flow and groundwater-transboundary flow*.

Beers W.F.J., 1970. *The Auger-hole Method. A field measurement of the hydraulic conductivity of soil below the water table*. ILRI-bulletin 1.

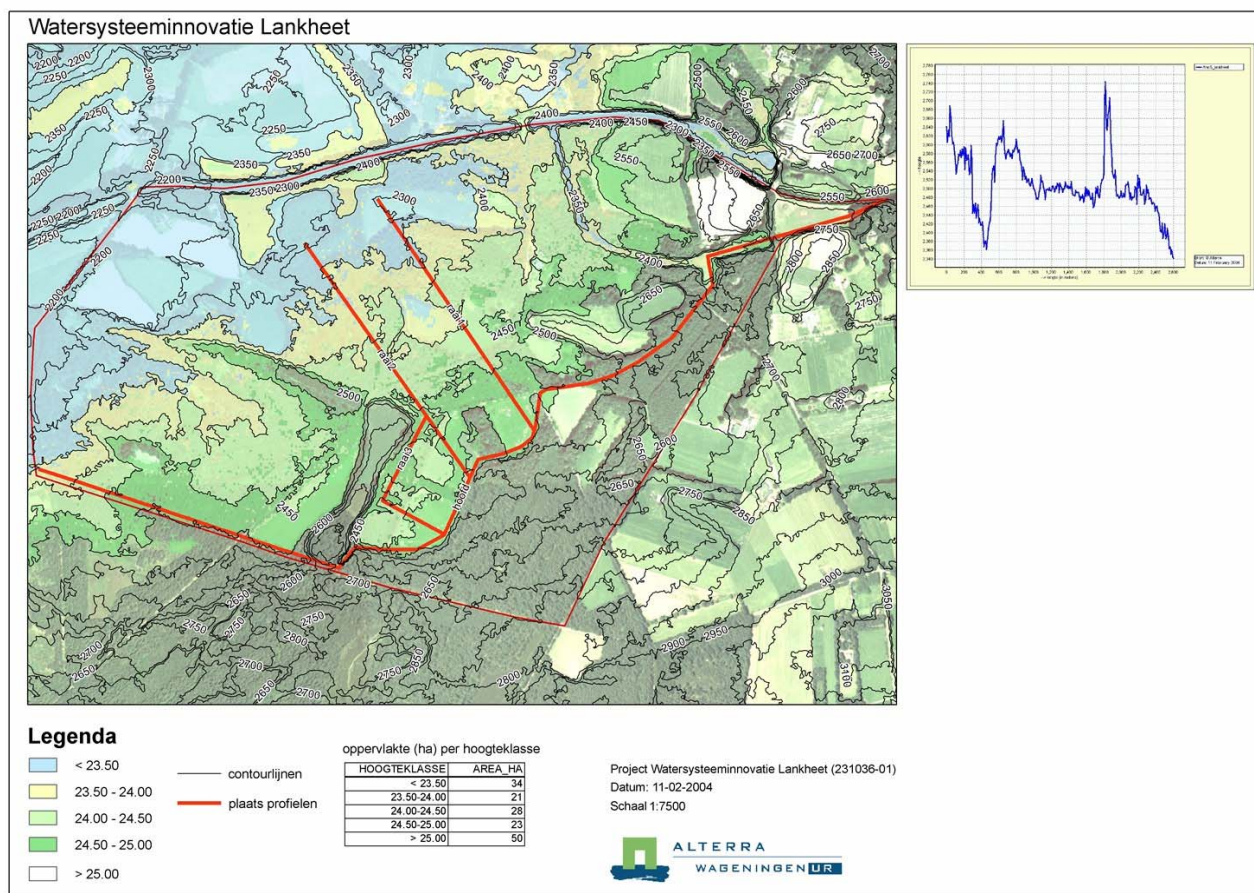
Berg M.W. van den, C.J. van Houten en C. den Otter, 2000. *Geologische kaart van Nederland 1 : 50 000. Blad Enschede West (34 W) en Enschede Oost/Glanerbrug*.

## Bijlage 3 Maaiveldhoogteligging projectgebied en omgeving





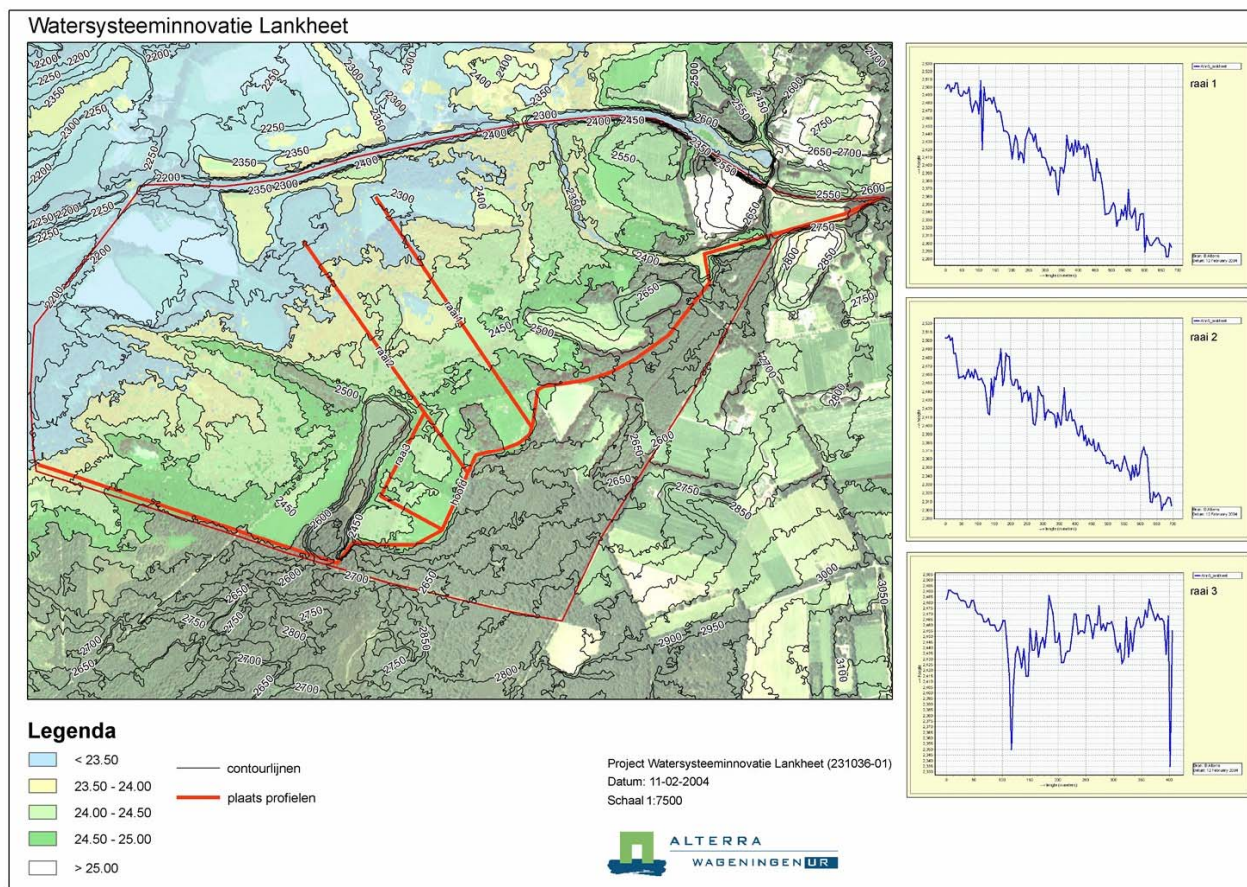
## Bijlage 4 Dwarsraai over projectgebied, ongeveer op de scheiding tussen wel en niet onder vrij verval te voorzien van beekwater







## Bijlage 5 Dwarsraaien over 3 percelen die in aanmerking komen voor aanleg van vloeivelden







## Bijlage 6 Berekening van drainafstand vloeiveld type 2

Uitgangspunt is een verticale flux van  $100 \text{ mm.d}^{-1}$ .

Op basis van de boorgatenmethode is een goede waarde voor de verzadigde horizontale doorlatendheid:  $1,5 \text{ m.d}^{-1}$ . Uit de geohydrologische beschrijving kan worden afgeleid dat de dikte van het watervoerend pakket meer dan 20 m is. Verder wordt aangenomen een maximaal toegestane opbolling tussen de drains van 0,2 m en een draindiameter van 0,1 m. Samengevat:

- $q = 0,1 \text{ m.d}^{-1}$
- $k_1 = k_2 = 1,5 \text{ m.d}^{-1}$
- $D = 20 \text{ m}$
- $m_0 = 0,2 \text{ m}$
- draindiameter: 0,1 m

Bij  $L$  is ca. 5 m en  $r = 0,1 \text{ m}$ :  $D \rightarrow d$  is 0,71 m

Invullen in formule van Hooghoudt geeft  $L = 4,38 \text{ m}$ , afgerond 4 m.

Dus in hydrologisch opzicht kunnen de drains redelijk ruim worden gelegd. Op grond van vermindering van de verblijftijdspreiding is het echter aan te bevelen de drainafstand niet te ruim te nemen. Zie ook discussie.

### *Discussie*

In de voorgestelde inrichting staat er water op het maaiveld. Dat is een andere randvoorwaarde dan die gebruikt bij de afleiding van de formule van Hooghoudt. Daarbij is namelijk aangenomen dat de flux op het freatisch vlak overal gelijk is (fluxrandvoorwaarde), terwijl bij water op het maaiveld we te doen hebben met potentiaalrandvoorwaarde. Bij volkomen verzadigde stroming is de afstand van maaiveld recht boven de drain en de drain 1 m, en midden tussen de drains minimaal 1,6 m maar geschat 3 m (zie figuur B6.1). Dat betekent dat de infiltratiesnelheid midden tussen de drains 3 maal geringer zal zijn dan midden boven de drains. Dat geldt uiteraard bij een homogene grond maar door de aanleg van de drains is de doorlatendheid midden boven de drains juist geringer en is groter in een strook grond waar het mes is doorheen getrokken. Derhalve is een drainafstand van 3 m acceptabel.

In de figuur is ook ingetekend dat een deel van het infiltratiewater niet naar de drains stroomt maar naar de ondergrond verdwijnt en aldus bijdraagt tot de voeding van het regionale systeem (wat heet regionaal, in ieder geval bovenlokaal). Een afschatting van de grootte van die flux is om meerdere redenen belangrijk:

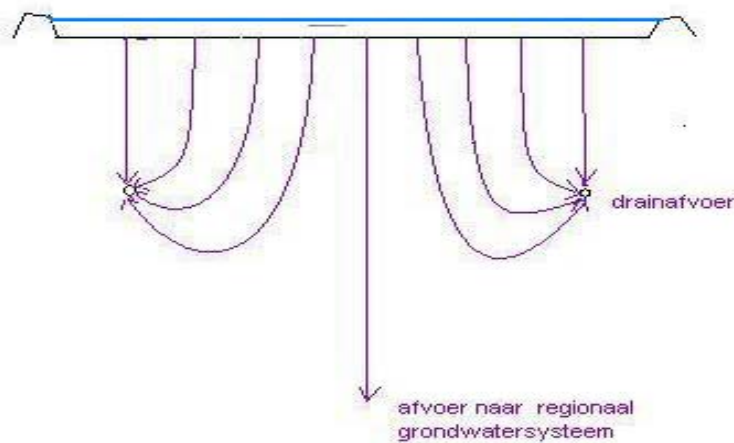
- hoe meer er regionaal wegstroomt hoe gunstiger de verblijftijdspreiding van het naar de drains stromend water maar hoe geringer de gemiddelde verblijftijd;
- water dat regionaal afstroomt draagt bij aan de verdrogingsbestrijding;
- water dat regionaal afstroomt komt via een veel langere weg uiteindelijk weer in ontwateringsmiddelen waardoor de verwijdering van N en P vrijwel volkomen is en tot in lengte van jaren kan doorgaan.

De afchatting van de omvang van de geïnduceerde regionale flux zal worden uitgevoerd met de formule van Dupuit met de volgende uitgangspunten:

- grootte perceel: 10 ha (straal 178 m)
- vorm: tussen rond en lijnvormig
- $K_d$ :  $100 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$
- c-waarde te verwaarlozen
- drainageweerstand omgeving:
  - winter 200 d;
  - zomer 500 d
- spreidingslengte winter: 141 m
- spreidingslengte zomer: 223 m
- halvering verhoging: 1,3 keer de spreidingslengte (figuur 7 uit Alterra-rapport 012 (Van der Gaast en Stuyt, 2000))
- potentiaalverhoging: winter 1,0 m; zomer 1,6 m (op basis gt VI en 20 cm water op het maaiveld)

Volgens stationaire beschouwing is de geïnduceerde voeding van het regionale systeem in de winter ongeveer  $400 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  en in de zomer ongeveer  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Dit komt overeen met 4 resp. 6 mm gemiddeld over de percelen (met een gradiënt naar de randen toe). Dat is slechts 4 resp. 6% van het aangevoerde debiet. Met behulp van een regionaal hydrologisch model zal dit beter kunnen worden berekend.

Bovenstaande afchattingen zijn gebaseerd op aangenomen waarden van doorlatendheden en andere parameters. Deze berekeningen worden herhaald als veldwaarnemingen dienaangaande zijn verricht.



*Figuur B6.1 Schematische voorstelling van stroming naar drains bij een draindiepte van 1,0 m en een drainafstand van 3 m (schaal 1 op 30)*

## Bijlage 7 Bodemchemische eigenschappen per bodemhorizont van drie locaties (x- en y-coördinaten) per onderzocht perceel (veld)

| Intern nr. | Veld | Code | x-coor | y-coor | Horizont | diepte | pH water |         |         | Org. Stof | P water mg/100 g | Oxalaat extractie mg/100 g |        |       | Oxalaat extractie mmol/kg |       |      | P verzadiging | P-water (w/v 1:2) mg/l |       |
|------------|------|------|--------|--------|----------|--------|----------|---------|---------|-----------|------------------|----------------------------|--------|-------|---------------------------|-------|------|---------------|------------------------|-------|
|            |      |      |        |        |          |        | pH       | drift - | drift + |           |                  | Fe                         | Al     | P     | Fe                        | Al    | P    |               | 24h                    | 1h    |
|            |      |      |        |        |          |        |          |         | %       |           |                  |                            |        |       |                           |       |      |               |                        |       |
| LL 1       | 1    | 1.1  | 246364 | 461192 | Ap       | 0-25   | 6,33     |         | 2,33    | 0,167     | 80,16            | 99,81                      | 48,34  | 14,35 | 36,99                     | 15,61 | 0,30 |               | 0,83                   | 2,305 |
| LL 2       |      | 1.1  |        |        | Ceg      | 35-45  | 6,41     |         | 0,52    | 0,027     | 32,23            | 52,31                      | 8,60   | 5,77  | 19,39                     | 2,78  | 0,11 |               | 0,135                  | 0,396 |
| LL 3       |      | 1.1  |        |        | Cgc      | 45-80  | 6,40     |         | 0,48    | 0,038     | 74,08            | 43,68                      | 3,05   | 13,26 | 16,19                     | 0,99  | 0,03 |               | 0,19                   | 0,247 |
| LL 4       |      | 1.1  |        |        | Cu       | 80-130 | 6,24     |         | 0,09    | 0,027     | 27,49            | 35,30                      | 1,14   | 4,92  | 13,08                     | 0,37  | 0,02 |               | 0,135                  | 0,208 |
| LL 5       | 1    | 1.2  | ?      | ?      | Ap       | 0-25   | 6,17     |         | 2,48    | 0,198     | 49,44            | 109,29                     | 34,00  | 8,85  | 40,51                     | 10,98 | 0,22 |               | 0,493                  | 0,610 |
| LL 6       |      | 1.2  |        |        | A/B      | 25-40  | 6,08     |         | 2,11    | 0,171     | 51,86            | 125,43                     | 38,44  | 9,29  | 46,49                     | 12,41 | 0,22 |               | 0,853                  | 0,535 |
| LL 7       |      | 1.2  |        |        | BCg      | 40-60  | 6,19     |         | 0,58    | 0,015     | 13,12            | 106,12                     | 8,86   | 2,35  | 39,33                     | 2,86  | 0,07 |               | 0,073                  | 0,157 |
| LL 8       |      | 1.2  |        |        | Ceg      | 60-90  | 6,14     |         | 0,46    | 0,010     | 6,00             | 84,63                      | 3,95   | 1,07  | 31,37                     | 1,27  | 0,04 |               | 0,048                  | 0,075 |
| LL 9       |      | 1.2  |        |        | Cu       | 90-130 | 6,04     |         | 0,36    | 0,070     | 4,99             | 61,27                      | 2,43   | 0,89  | 22,71                     | 0,78  | 0,03 |               | 0,348                  | 0,086 |
| LL 10      | 1    | 1.3  | 246349 | 461095 | Ap       | 0-20   | 6,01     |         | 2,35    | 0,177     | 58,48            | 88,91                      | 34,31  | 10,47 | 32,95                     | 11,08 | 0,26 |               | 0,443                  | 0,923 |
| LL 11      |      | 1.3  |        |        | Bh       | 20-35  | 6,07     |         | 0,84    | 0,059     | 29,53            | 87,39                      | 16,49  | 5,29  | 32,39                     | 5,32  | 0,14 |               | 0,292                  | 0,269 |
| LL 12      |      | 1.3  |        |        | BC       | 35-55  | 6,06     |         | 0,58    | 0,093     | 15,97            | 86,16                      | 4,07   | 2,86  | 31,93                     | 1,31  | 0,04 |               | 0,463                  | 0,108 |
| LL 13      |      | 1.3  |        |        | Ce       | 55-130 | 6,01     |         | 0,20    | 0,096     | 14,03            | 70,58                      | 3,07   | 2,51  | 26,16                     | 0,99  | 0,03 |               | 0,48                   | 0,095 |
| LL 14      | 2    | 2.1  | 246210 | 461136 | Ap       | 0-25   | 5,91     |         | 2,12    | 0,239     | 64,779           | 72,746                     | 51,095 | 11,60 | 26,96                     | 16,50 | 0,43 |               | 0,596                  | 2,435 |
| LL 15      |      | 2.1  |        |        | Cg       | 25-35  | 5,77     |         | 0,58    | 0,251     | 32,292           | 52,754                     | 25,897 | 5,78  | 19,55                     | 8,36  | 0,33 |               | 0,626                  | 1,880 |
| LL 16      |      | 2.1  |        |        | Ceg      | 35-70  | 5,89     |         | 0,19    | 1,593     | 16,37            | 52,767                     | 12,713 | 2,93  | 19,56                     | 4,10  | 0,18 |               | 0,795                  | 0,513 |
| LL 17      |      | 2.1  |        |        | Ce       | 70-130 | 5,97     |         | 0,09    | 0,496     | 10,299           | 36,324                     | 2,6443 | 1,84  | 13,46                     | 0,85  | 0,06 |               | 0,248                  | 0,100 |
| LL 18      | 2    | 2.2  | 246228 | 461097 | Ape      | 0-35   | 5,83     |         | 2,78    | 0,430     | 79,025           | 102,3                      | 51,305 | 14,15 | 37,92                     | 16,56 | 0,32 |               | 0,214                  | 3,701 |
| LL 19      |      | 2.2  |        |        | Bh       | 35-60  | 5,85     |         | 1,22    | 0,556     | 23,392           | 105,12                     | 16,813 | 4,19  | 38,96                     | 5,43  | 0,13 |               | 0,277                  | 0,412 |
| LL 20      |      | 2.2  |        |        | BCw      | 60-100 | 5,76     |         | 1,28    | 0,165     | 12,949           | 128,52                     | 6,0611 | 2,32  | 47,63                     | 1,96  | 0,04 |               | 0,412                  | 0,090 |
| LL 21      | 2    | 2.3  | 246200 | 461017 | Ap       | 0-30   | 5,97     | 6,27    | 4,16    | 0,219     | 143,09           | 112,26                     | 47,351 | 25,62 | 41,61                     | 15,29 | 0,23 |               | 0,109                  | 1,064 |
| LL 22      |      | 2.3  |        |        | Ceg1     | 30-60  | 6,54     |         | 0,36    | 0,483     | 31,344           | 14,904                     | 1,8438 | 5,61  | 5,52                      | 0,60  | 0,05 |               | 0,241                  | 0,146 |
| LL 23      |      | 2.3  |        |        | Ceg2     | 60-90  | 6,64     |         | 0,37    | 0,659     | 54,409           | 17,388                     | 3,7862 | 9,74  | 6,44                      | 1,22  | 0,08 |               | 0,33                   | 0,118 |
| LL 24      |      | 2.3  |        |        | Cr       | 90-150 | 6,79     |         | 0,22    | 0,459     | 36,861           | 12,788                     | 1,6299 | 6,60  | 4,74                      | 0,53  | 0,05 |               | 0,229                  | 0,135 |
| LL 25      | 3    | 3.1  | 246168 | 460913 | Ap       | 0-30   | 6,01     | 5,62    | 2,38    | 0,450     | 76,589           | 68,033                     | 41,813 | 13,71 | 25,22                     | 13,50 | 0,35 |               | 0,225                  | 3,026 |
| LL 26      |      | 3.1  |        |        | BC1      | 30-60  | 5,72     |         | 0,51    | 0,219     | 26,86            | 55,75                      | 10,95  | 4,81  | 20,66                     | 3,53  | 0,14 |               | 0,547                  | 0,475 |
| LL 27      |      | 3.1  |        |        | BC2      | 60-90  | 5,81     |         | 0,77    | 0,139     | 12,331           | 81,872                     | 5,5919 | 2,21  | 30,34                     | 1,81  | 0,06 |               | 0,347                  | 0,238 |
| LL 28      |      | 3.1  |        |        | Ce       | 90-140 | 5,87     |         | 0,38    | 0,131     | 14,72            | 64,68                      | 2,45   | 2,64  | 23,97                     | 0,79  | 0,03 |               | 0,328                  | 0,287 |
| LL 29      | 3    | 3.2  | 246104 | 460874 | Ap       | 0-35   | 6,01     |         | 4,84    | 0,235     | 98,42            | 56,36                      | 34,37  | 17,62 | 20,89                     | 11,10 | 0,29 |               | 0,584                  | 1,649 |
| LL 30      |      | 3.2  |        |        | Ce       | 35-55  | 6,37     |         | 0,67    | 0,617     | 28,67            | 24,90                      | 6,01   | 5,13  | 9,23                      | 1,94  | 0,14 |               | 0,308                  | 0,805 |
| LL 31      |      | 3.2  |        |        | Cg       | 55-90  | 6,48     |         | 0,24    | 0,834     | 25,18            | 19,31                      | 3,36   | 4,51  | 7,16                      | 1,08  | 0,09 |               | 0,416                  | 1,174 |
| LL 32      | 3    | 3.3  | 246130 | 460957 | Ap       | 0-30   | 6,12     |         | 3,30    | 0,237     | 127,68           | 45,07                      | 29,86  | 22,86 | 16,70                     | 9,64  | 0,24 |               | 0,118                  | 1,388 |
| LL 33      |      | 3.3  |        |        | BCeg1    | 30-50  | 6,23     |         | 0,49    | 0,524     | 36,75            | 25,17                      | 7,72   | 6,58  | 9,33                      | 2,49  | 0,16 |               | 0,262                  | 0,505 |
| LL 34      |      | 3.3  |        |        | BCeg2    | 50-80  | 6,39     |         | 0,41    | 0,516     | 32,271           | 18,683                     | 4,3234 | 5,78  | 6,92                      | 1,40  | 0,11 |               | 0,258                  | 0,787 |
| LL 35      |      | 3.3  |        |        | BC       | 80-110 | 6,41     |         | 0,52    | 0,190     | 39,11            | 18,16                      | 1,96   | 7,00  | 6,73                      | 0,63  | 0,05 |               | 0,474                  | 0,293 |

