NN31127.296

Eco-hydrologische systeembeschrijving van het landgoed 'De Wildenborch'

P.C. Jansen, R.H. Kemmers en P. Mekkink

Dienst Landbouwkundig O
Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landeli

sc-dlo

RAPPORT 296
Wageningen, 1994

Eco-hydrologische systeembeschrijving van het landgoed 'De Wildenborch'

P.C. Jansen
R.H. Kemmers
P. Mekkink

Rapport 296

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1994

- 8 MAART 1994

REFERAAT

Jansen, P.C., R.H. Kemmers en P. Mekkink, 1994. *Eco-hydrologische systeembeschrijving van het landgoed 'De Wildenborch'*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 296 126 blz.; 45 fig.; 3 tab.; 3 aanh.

Veel natuurwetenschappelijk waardevolle gebieden in Nederland hebben te maken met verdroging, het wegvallen van kwel en een verzuring van de bovengrond. Voordat in dergelijke gebieden hydrologische maatregelen kunnen worden genomen om het oorspronkelijke milieu te herstellen is het noodzakelijk om de mate van aantasting en de samenhang tussen de abiotische milieufactoren te kennen. Voor het bij Lochem gelegen landgoed de Wildenborch zijn bodem, humusprofielen, hydrologie en hydrochemie onderzocht. Via een synthese is een eco-hydrologische systeembeschrijving gemaakt en zijn mogelijkheden voor natuurontwikkeling gegeven.

Trefwoorden: landgoed, eco-hydrologie, verdrogen, verzuren, vernatten, humus, Wildenborch

ISSN 0927-4499

©1994 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812.

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw 'De Dorschkamp' (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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 DLO-Staring Centrum.

Project 3339 [Rap296.WIO/HM/01-1994]

Inhoud

Woord vooraf 11

Samenvatting 13

1 Inleiding 17
1.1 Probleemschets 17
1.2 Doel van het onderzoek 17
1.3 Opzet van het onderzoek 18

2 Beschrijving van het gebied 25
2.1 De omgeving van het landgoed de Wildenborch 25
2.2 Het landgoed De Wildenborch 26
2.3 Conclusies 27

3 Geologie en bodem 29
3.1 Geologische opbouw 29
3.2 Bodemgesteldheid van het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot 32
3.3 Indeling van de gronden en opzet van de legenda in het landgoed de Wildenborch 33
3.3.1 Beschrijving van de gronden van het landgoed de Wildenborch 34
3.3.2 De bodemkaart en de kalkdieptekaart 38
3.4 Conclusies 41

4 Humusprofielonderzoek 43
4.1 Inleiding 43
4.2 Beschrijving van het humusprofiel 44
4.3 Humusprofielen in het landgoed de Wildenborch 45
4.4 Chemische eigenschappen van humusprofielen 48
4.4.1 Werkwijze 48
4.4.1.1 Bemonstering 48
4.4.1.2. Analysemethoden 48
4.4.2 Resultaten 50
4.4.2.1 De basentoestand 50
4.4.2.2 De trofiegraad 54
4.5 Conclusies 59

5 Hydrologie 61
5.1 Stroming van het diepe grondwater 61
5.2 Stroming van het freatische grondwater 67
5.2.1 Het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot 67
5.2.2 Het landgoed de Wildenborch 67
5.3 Grondwatertrappen 71
5.3.1 Indeling van het grondwaterstandsverloop 71
5.3.2 Het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot 71

blz.

5.3.3 Beschrijving van de grondwatertrappen in het landgoed de Wildenborch 72
5.3.4 De grondwatertrappenkaart 73
5.4 Beschikbaarheid van bodemvocht 73
5.5 Veranderingen in de tijd 77
5.6 Conclusies 81

6 Hydrochemie 85
6.1 Bewerking van de gegevens 85
6.2 Diep grondwater 85
6.3 Ondiep grondwater en oppervlaktewater 90
6.3.1 De omgeving van het landgoed de Wildenborch 90
6.3.2 Het landgoed de Wildenborch. 94
6.4 Conclusies 99

7 Synthese 101
7.1 Samenhang tussen bodem, humus en waterkwantiteit en waterkwaliteit 101
7.2 Mogelijkheden voor natuurontwikkeling 106
7.3 Aanbevelingen voor verder onderzoek 110

Literatuur 113

Tabellen

1 De mate van overeenkomst met de referenties: atmoclien water (ATM); lithoclien zacht en hard water (LI-DU en LI-AN); Rijnwater (RHLOB); thalassoclien water (THX) 88
2 De mate van overeenkomst met de referenties: atmoclien water (ATM); lithoclien zacht en hard water (LI-DU en LI-AN); Rijnwater (RHLOB); thalassoclien water (THX). 91
3 De mate van overeenkomst met de referenties: atmoclien water (ATM); lithoclien zacht en hard water (LI-DU en LI-AN); Rijnwater (RHLOB); zeewater (THX). 97

Figuren

1 Topografie en waterlopen 19
2a Overzicht van het grond- en oppervlaktewatermeetnet Het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot 20
2b Het landgoed de Wildenborch 21
3 Overzichtskaart van het landgoed de Wildenborch 28
4 Stratigrafisch overzicht van de beschreven afzettingen 30
5 Geologische schematisatie in de omgeving van de Wildenborch 31

blz.

6 Fragment van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 32
7 De bodemkaart van de Wildenborch 39
8 De kalkdieptekaart van de Wildenborch 40
9 Horizontdiktes bij de locaties voor het humusprofielonderzoek. De locaties staan in figuur 10 46
10 Overzicht van locaties waar monsters zijn verzameld voor humusprofielonderzoek 49
11 Het verband tussen zuurgraad en calciumbezetting van het adsorptiecomplex in verschillende natuurterreinen met korte vegetaties 50
12 Het verband tussen de zuurgraad en de calciumbezetting van het adsorptiecomplex in de Wildenborch. 1: L/F-horizont; 2: H-horizont; 3: Ah-horizont 51
13 Het verband tussen de calciumbezetting op het adsorptiecomplex en de H/Ca-ratio voor monsters afkomstig van de Wildenborch. 1: L/F-horizont; 2: H-horizont; 3: Ah-horizont 52
14 Het verband tussen de H/Ca-ratio en de pH voor monsters afkomstig van de Wildenborch. De lettercode geeft het bodemtype weer ter plaatse van het monster; Hn: veldpodzolgrond; vWp: moerpodzolgrond; pZn: gooreerdgrond; (k)pZg: beekeerdgrond (met kleidek); cZg: beekeerdgrond met cultuurdek. Romeinse cijfers verwijzen naar de bemonsterde lokatie. 53
15 Het verband tussen de dikte van de ecto-organische horizont en de H/Ca-ratio. De cijfercode verwijst naar de dominante boomsoort; 1: hardhout en naaldbomen; 2: zachthout 54
16 Het verband tussen de C/N- en C/P-ratio in de verschillende humushorizonten. De cijfercode heeft betrekking op de humushorizont waaruit het monster afkomstig is; 1: L/F-horizont; 2: H-horizont; 3: Ah-horizont 55
17 Het verband tussen de C/N-ratio en de H/Ca-ratio. a) De cijfercode geeft de humushorizont aan waaruit het monster afkomstig is (zie figuur 16) b). De lettercode geeft het bodemtype aan waarop het bemonsterde humusprofiel zich heeft ontwikkeld 56
18 Het verband tussen de C/P-ratio en de H/Ca-ratio. a) De cijfercode geeft de humushorizont aan waaruit het monster afkomstig is (zie figuur 16) b). De lettercode geeft het bodemtype aan waarop het bemonsterde humusprofiel zich heeft ontwikkeld 58
19 Geschematiseerde verbanden tussen nutriëntenratio en basentoestand in verschillende horizonten van het humusprofiel. De cijfercode geeft de humushorizont aan waaruit het monster afkomstig is (zie figuur 16) 59
20 Isohypsen (m. + NAP) van het diepe grondwater d.d. 28 april 1975 62
21 Intrekgebieden van de waterwinningen Lochem en Dennenwater en de ligging van de begraven stuwwal 63
22 Isohypsen (m. + NAP) van het diepe grondwater. A. d.d. 28 april 1993; B. d.d. 14 juli 1993 64
23 Globaal berekende stroombanen in een oost-west doorsnede door de Wildenborch voor een jaargemiddelde situatie 66

blz.

24 Isohypsen (m. + NAP) van het freatische grondwater.
A. d.d. 28 april 1993; B. d.d. 14 juli 1993 68
25 Waterniveau in een oost-west doorsnede door de Wildenborch 69
26 Het verloop van het peil in de waterlopen en van het grondwater langs de randen de Wildenborch.
A. Oostzijde; B. Westzijde 71
27 De grondwatertrappenkaart van de Wildenborch 74
28 Drukhoogte op 15 cm diepte
A: Enkeerdgrond 1982; B: Beekeerdgrond 1982; C: Enkeerdgrond 1976; D: Beekeerdgrond 1976 76
29 Cumulatieve actuele en potentiële verdamping van het bos op de enkeerdgrond.
A: 1982; B: 1976 77
30 Cumulatieve verloop van de verticale flux op 10, 20, 30, 40 en 50 cm beneden maaiveld gedurende het groeiseizoen. (positief = opwaarts; negatief = neerwaarts)
A: Enkeerdgrond 1982; B: Beekeerdgrond 1982; C: Enkeerdgrond 1976; D: Beekeerdgrond 1976 78
31 Punten van duurzame grondwatermeetnetten in de omgeving van de Wildenborch 79
32 Relatie tussen de cumulatieve gemiddelde grondwaterstanden.
A: GLG's van B14 en L4; B: GHG's van B14 en L4;
C: GLG's van B14 en L1; D: GHG's van B14 en L1;
E: GLG's van B14 en L11; F: GHG's van B14 en L11 82
33 Ligging van de referentiepunten en indeling in watertypen in het lithoclien-thalassoclien diagram
O: regenwater
Ia: zacht, niet tot matig verontreinigd
Ib: zacht, matig tot sterk verontreinigd
IIa : hard, niet tot matig verontreinigd
IIb : hard, matig tot sterk verontreinigd
III : sterk tot zeer sterk verontreinigd
Iva : mengwater, niet tot matig verontreinigd
Ivb : mengwater, matig tot sterk verontreinigd 87
34 Lithoclien-thalassoclien diagram van verschillende watermonsters uit de aquifer in de omgeving van de Wildenborch 88
35 Lithoclien-thalassoclien diagram van het diepe grondwater uit het primaire meetnet op 5 april en 12 augustus 1993 89
36 Lithoclien-thalassoclien diagram van het bovenste grondwater uit het secundaire meetnet rond de Wildenborch.
A: d.d. 5 april 1993; B: d.d. 12 augustus 1993 92
37 Berekende aandeel van atmoclien water in het grondwater op 5 april 1993 en de daaruit afgeleide stroming van het grondwater in een doorsnede door het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot. 93
38 Globale verspreiding van het berekende aandeel van atmoclien water in het grondwater op 5 april 1993 in de Wildenborch. 95

blz.

39 Thalassoclien-lithoclien diagram van het bovenste grondwater in het landgoed de Wildenborch.
A: d.d. 5 april 1993; B: d.d. 12 augustus 1993 96
40 Thalassoclien-lithoclien diagram van het oppervlaktewater in het landgoed de Wildenborch 98
41 Samenhang tussen de regionale grondwaterstroming en waterkwaliteit en de positie van de Wildenborch 102
42 Synthese van het ecohydrologisch systeem rond de Wildenborch in verschillende perioden van de ontstaansgeschiedenis.
a) Voor de aanleg van het landgoed; b) Na ophoging met en cultuurdek; c) Na ontwatering van de omgeving; d) Ontwikkeling van humusprofielen en veranderingen in nutriëntenkringlopen op verschillende plaatsen binnen het landgoed (nummers verwijzen naar de plaatsen). 104
43 Delen van de Wildenborch met een vergelijkbare status. 105
44 Globaal berekende stroombanen van het grondwater in een oost-west doorsnede door de Wildenborch voor een situatie met een opgezet peil in de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor en een lager peil in de Wildenborch. 109
45 Cumulatieve verloop van de verticale flux op 10, 20, 30, 40 en 50 cm beneden maaiveld onder een graslandvegetatie op een enkeerdgrond gedurende het groeiseizoen. A: 1982; B: 1976 110

Aanhangsels

1 Boorbeschrijvingen van de diepe boringen tot en met P6. 119
2 Overzicht van bewerkingen van analyseuitslagen van bodemmonsters. 121
3 Analyseresultaten van de bemonstering van grond- en oppervlaktewater 123

Woord vooraf

Het landgoed de Wildenborch is door de provincie Gelderland aangewezen als één van de bodembeschermingsprojecten (IPB) waar, na een onderzoek naar de verdroging, concrete maatregelen genomen zullen worden die het oorspronkelijke waterregime en daarmee het bodemmilieu zo goed mogelijk moeten herstellen.

De provincie Gelderland heeft aan DLO-Staring Centrum opdracht verleend voor een eco-hydrologisch onderzoek in het landgoed. Staatsbosbeheer heeft een aanvullend onderzoek naar humusprofielen gefinancierd. Het onderzoek is in 1993 uitgevoerd.

De heer ir. H.J. Reit (Provincie Gelderland, Dienst Milieu en Water) was projectleider van het onderzoek en de heer ir. Chr. Schepers (Staatsbosbeheer, regio Veluwe en Achterhoek) was voorzitter van de projectgroep de Wildenborch. Via tussenrapportages is de projectgroep over de resultaten geïnformeerd. Dit rapport geeft een integraal overzicht van het onderzoek.

Het bodemkundig onderzoek en het onderzoek aan de humusprofielen is verricht door P. Mekkink en de interpretatie van het bodemchemisch onderzoek door R.H. Kemmers. De hydrologie is onderzocht door P.C. Jansen.

Het diepe grondwatermeetnet werd ingericht door L. Honkoop, medewerker van DLO-Staring Centrum, en de watermonsters zijn door O.M. Hooijer geanalyseerd. Als stagiair van de I.A.H.L. te Velp heeft R. van Paridon aan het onderzoek meegewerkt. De waterstanden zijn gemeten door het Waterschap van de Berkel. De bodemchemische analyses zijn uitbesteed aan Bureau Giesen & Geurts in Dinxperlo. Verder heeft B. van Delft van DLO-Staring Centrum een belangrijke bijdrage geleverd aan het vervaardigen van het kaartmateriaal.

Samenvatting

In het kader van de bestrijding van verdroging is de provincie Gelderland van plan om bij het landgoed de Wildenborch maatregelen te nemen die erop gericht zijn het oorspronkelijk waterregime zo goed mogelijk te herstellen. Concrete maatregelen zullen worden gebaseerd op de werking van het eco-hydrologische systeem. De leemte in de kennis daarover is door DLO-Staring Centrum opgevuld middels een onderzoek dat in 1993 is uitgevoerd.

Er is een onderzoek verricht aan verschillende compartimenten van het ecosysteem. Van het hydrologisch compartiment zijn zowel kwantitatieve als kwalitatieve aspecten onderzocht, met als doel de hydrologische positie van het landgoed in het regionale hydrologische systeem te identificeren. Locaal hydrologisch onderzoek richtte zich op het localiseren van watertypen die in verband kunnen worden gebracht met infiltratie en exfiltratie processen.
Onderzoek van het bodemcompartiment spitste zich toe op het vastleggen van bodemkundige patronen binnen het landgoed in relatie tot hydrologische processen en de aanwezigheid van verschillende typen moedermateriaal. Onderzoek van het humuscompartiment had tot doel de invloed van hydrologische processen op de nutriëntenkringloop binnen het ecosysteem van de Wildenborch te analyseren. Humusprofielen werden beschreven in termen van morfologische kenmerken en bodemchemische variabelen. Via een synthese is het onderzoek in de verschillende compartimenten geïntegreerd tot een conceptueel model waarmee de huidige ecologische ontwikkeling van het landgoed in verband is gebracht met hydrologische veranderingen in de omgeving.

Het hydrologisch en hydrochemisch onderdeel leidde tot de conclusie dat het grondwater in de grove zandondergrond naar het noordwesten stroomt. In het circa 4 meter dikke afdekkende pakket van fijn zand wordt de stroming sterk beïnvloed door drainerende waterlopen. In de zomerperiode valt deze invloed goeddeels weg. Veel waterlopen staan dan droog. De Wildenborch is in een laaggelegen zone van het landschap gelegen waar oorspronkelijk lithotroof grondwater via kwel aan het maaiveld dagzoomde. Dit wordt o.a. bevestigd door het over grote oppervlakten voorkomen van kalkrijk materiaal (< 1,2 m-mv.) dat uit het aangevoerde calcium-bicarbonaatrijke kwelwater is neergeslagen in de ondergrond. Als gevolg van verschillende maatregelen is het drainageniveau van het landgoed gedaald waardoor de winter- en zomerstanden ongeveer 20 cm dieper zijn in vergelijking met enkele decennia geleden. Hierdoor is infiltratie gaan overheersen. Door de buffercapaciteit van het kalkrijke materiaal in de bodem neemt het bovenste recent geïnfiltreerde grondwater in het landgoed op de meeste plaatsen echter snel na infiltratie een (zacht) lithocliene samenstelling aan. Via diepe stroombanen komt een gedeelte van dit lokaal geïnfiltreerde water in de Afwatering van het Kranengoor terecht. Deze Afwatering ligt aan de westzijde van de Wildenborch. De van oorsprong aanwezige kwel manifesteert zich nog ten zuiden en oosten van het landgoed maar lijkt in belangrijke mate te worden afgevangen door de gegraven Afwatering van Groenouwe aan de oostzijde.
Oriënterende berekeningen met hydrologische modellen geven aan dat de beschikbaarheid van water nog ruim voldoende is.

Als resultaat van het bodemkundig onderzoek is een bodemkaart, een Gt-kaart en een kalkdieptekaart vervaardigd. Aansluitend op het hydrologisch onderzoek wijst het ondiep voorkomen van kalkafzettingen op de oorspronkelijke ligging van het landgoed in een kwelzone. De dominante aanwezigheid van beekeerdgronden wijst op een bodemkundige ontwikkeling in het landgoed waarbij de invloed van kwel tot in de bovenste bodemhorizonten van invloed moet zijn geweest. Dit bodemtype ontwikkelt zich onder basenrijke, vochtige condities, waarbij een humusrijke A-horizont (eerdlaag) ontstaat als gevolg van een intensief bodemleven. De plaatselijk aanwezige moerige eerdgronden wijzen op eenzelfde proces onder nattere omstandigheden. Een bijzonder bodemkundig verschijnsel is de aanwezigheid van een opgebracht cultuurdek rond het landhuis. Zeer plaatselijk komen tenslotte van oorsprong hoger gelegen zandruggen voor waarin zich een podzolprofiel heeft ontwikkeld. In deze situatie is nooit invloed van kwelwater aanwezig geweest. Tussen podzolgronden en beekeerdgronden komen bodemkundige overgangen (gooreerdgronden) voor.

Van de verschillende bodemtypen is het daarin voorkomende humusprofiel beschreven. Daarbij is onderscheid gemaakt naar ecto-organische horizonten die worden gekenmerkt door bovenop de minerale ondergrond geaccumuleerde strooisellagen en endo-organische horizonten die bestaan uit stabiele humustypen, die gehomogeniseerd met de minerale ondergrond voorkomen. Op de meeste beekeerdgronden blijken zich ecto-organische humushorizonten te ontwikkelen. Dit wijst op ongunstige condities voor afbraak van strooisel, waardoor nutriënten accumuleren in het ruwe strooisel en minder beschikbaar zijn voor de vegetatie. Chemisch onderzoek toonde aan dat de humushorizonten in deze beekeerdgronden sterk zijn verzuurd. Beekeerdgronden met een cultuurdek zijn nog niet sterk verzuurd. Door de voorraad organische stof is de buffercapaciteit tegen verzuring daar relatief groot. Het systeem vertoont hier een naijling van de oorspronkelijke kwelsituatie. De calciumbezetting is er nog voldoende hoog voor een goede afbraak van strooisel. De van oorsprong zure gronden (veldpodzol- en moerpodzolgronden) bezitten volgens verwachting ecto-organische humusprofielen. Uit het humusprofielonderzoek kwam tevens naar voren dat ook het bosopstandstype van invloed is op de ontwikkeling van het humusprofiel. Zo blijken hardhout- en naaldhoutsoorten een minder gemakkelijk afbreekbaar type strooisel te produceren, waardoor ecto-organische humusprofielen ontstaan.

Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat de oorspronkelijke kwelstroom naar de Wildenborch wordt weggevangen door een gegraven systeem van beken waardoor de drainagebasis in de regio is verlaagd. Binnen het langoed is de berging voor neerslagwater toegenomen en is infiltratie gaan domineren over kwel. Als gevolg van deze verschuiving in de waterbalans is de bodem sterk gaan verzuren. Als gevolg hiervan ontwikkelen zich ecto-organische humusprofielen die wijzen op een verandering in de nutriëntenkringloop. Van een neutraal matig voedselrijk systeem met een snelle nutriëntenkringloop is een verschuiving opgetreden naar een zuur voedselarm systeem met een langzame kringloop. Hydrologische herstelmaatregelen zouden moeten leiden naar een terugkeer van het neutrale, matig voedselrijke systeem.

Ten aanzien van het herstel van de oorspronkelijke hydrologische omstandigheden zijn de mogelijkheden beperkt. Daarbij vormt nietzozeer vernatting een probleem maar juist de aanwezigheid van kwelwater.
Het meest effectief is het verhogen van het drainageniveau in de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor waardoor de wintergrondwaterstanden stijgen en er mogelijk oppervlakkige afvoer van het neerslagoverschot plaatsvindt. De buffercapaciteit van de bodem tegen verzuring wordt daardoor minder snel verbruikt, omdat minder infiltratie optreedt. Het kwelmilieu wordt echter niet hersteld. Het verhogen van het drainageniveau in de aangrenzende Afwateringen kan worden gecombineerd met een verlaging van het drainageniveau in de Wildenborch door het peil in de grachten te verlagen. Volgens berekeningen met een hydrologisch stromingsmodel zullen de grachten dan worden gevoed met kwelwater. Een bijkomend nadeel is, dat de gemiddelde grondwaterstand wat zal dalen.

1 Inleiding

1.1 Probleemschets

Grondwaterafhankelijke vegetaties hebben op veel plaatsen te maken met een daling van de grondwaterstand, wat resulteert in vochttekorten en een drogere en zuurdere bovengrond (Grootjans, 1985; Kemmers en Jansen, 1985; Kemmers en Van Wirdum, 1988; De Vries et al., 1989) waardoor er veranderingen optreden in de samenstelling van deze vegetaties. Daarnaast is het natuurlijke milieu in toenemende mate kwalitatief belast met stoffen die via de atmosfeer of grondwaterstroming worden aangevoerd (De Molenaar, 1980; Erisman, 1991).

Eén van de gebieden waarvan de natuurwaarden onder druk staan betreft het in de Achterhoek gelegen landgoed de Wildenborch, een restant van een eeuwenoud parkbos. Voor een belangrijk deel worden de veranderingen in dit gebied toegeschreven aan verdroging. Verondersteld wordt dat een verlaging van de drainagebasis is opgetreden die zijn oorsprong vindt in een verbeterde afwatering. Daarnaast wordt er in de omgeving dieper grondwater onttrokken. Naar verwachting hebben deze ingrepen voor het landgoed geresulteerd in:
- een grotere fluctuatie tussen zomer- en wintergrondwaterstanden;
- kwelfluxen die afgenomen zijn; minder hoog in het bodemprofiel doordringen; worden weggevangen door hoofdwaterlopen;
- een toename van de berging van het neerslagoverschot;
- de vervanging van freatisch grondwater met kwelwaterkwaliteit door freatisch grondwater met regenwaterkwaliteit;
- een afname van de basenverzadiging van de bovengrond waardoor de strooiselomzetting in bossen wordt geremd.

Met name de natte kruidachtige vegetaties zijn gevoelig voor de gevolgen van verdroging. Daarbij komen door mineralisatie de in de strooisellaag opgeslagen nutriënten vrij, met als gevolg een toename van vooral ruderale soorten (eutrofiëring). Voor bomen neemt bij verdroging van natte groeiplaatsen het bewortelbare volume en daarmee de groei toe (Nabuurs en Van Tol, 1993).

1.2 Doel van het onderzoek

Om de negatieve gevolgen van verdroging, verzuring en vermesting terug te dringen, worden zowel op nationale als regionale en lokale schaal maatregelen voorgesteld (o.a. Cals et al., 1993; Grontmij, 1993). Maatregelen die bij de Wildenborch voor ogen staan zijn gericht op verhoging van de drainagebasis en toename van de kwelinvloed. Deze worden afhankelijk gesteld van de resultaten van een ecohydrologische systeembeschrijving van het landgoed.

Het uiteindelijke doel van het onderzoek is een beschrijving van de kwaliteit van het actuele watersysteem en bodemmilieu, een reconstructie van een meer oorspronkelijke situatie en het aangeven van de consequenties van mogelijke

maatregelen tegen de verdroging. Er moet antwoord gegeven worden op de volgende vragen:

- Welke verscheidenheid en profielontwikkeling is er in bodemgesteldheid?
- Wat zijn de bodemkundige kenmerken?
- Welke veranderingen hebben er plaatsgevonden in de strooisellaag en in de humeuze bovengrond en is er een uitwisseling met de minerale ondergrond?
- Is er een verband tussen de aard en de samenstelling van de strooisellaag en een eventuele verlaging van de grondwaterstand of een verandering in de samenstelling van het grondwater?
- Welke veranderingen heeft de waterhuishouding ondergaan, is de kwelflux afgenomen en hoe is het met de vochtvoorziening voor de vegetatie gesteld?
- Welke veranderingen zijn er opgetreden in de samenstelling van het grondwater en welk type water is beschikbaar voor de vegetatie?
- In hoeverre zijn de veranderingen omkeerbaar wanneer de grondwaterstanden structureel worden verhoogd?

1.3 Opzet van het onderzoek

Voor de opzet van het onderzoek is voor een integrale benadering gekozen, om het eco-hydrologisch systeem van de Wildenborch te analyseren. De integratie impliceert dat verschillende compartimenten van het ecosysteem zijn onderzocht en via een synthese met elkaar in verband zijn gebracht. De onderzochte compartimenten betreffen: kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van het hydrologisch systeem, het bodemcompartiment en het humuscompartiment. Voor zover bestaande informatie niet toereikend was, werd aanvullende informatie verzameld.

De globale werking van het hyrologisch systeem in de omgeving van de Wildenborch is bekend. Het blijkt dat er slechts sprake is van één watervoerend pakket waarvan de dikte bij de Wildenborch ongeveer 35 meter bedraagt (Grootjans, 1984). De bovenste 3 tot 7 meter bestaat uit fijn dekzand. Volgens Engelen et al. (1988, 1989) wordt dit systeem gevoed vanuit pleistocene terreinopwelvingen, maar doordat de infiltratiecapaciteit van de bodem over het gehele gebied vrij laag is, wordt het grootste gedeelte van het neerslagoverschot oppervlakkig afgevoerd.

De stroming in het grove, watervoerende pakket is noordwestelijk gericht (Smoor en de Ridder, 1972), zal overwegend horizontaal zijn en wordt hier beschouwd als het *primaire* stromingsstelsel. Voor dit stelsel zijn mogelijk de grondwaterwinningen Lochem en Dennenwater van belang en de invloed van de Lochemer Berg. Deze stuwwal die ongeveer 3 km ten noordoosten van de Wildenborch ligt, strekt zich ondergronds uit tot Montferland (Rijks Geologische Dienst, 1991). De grondwaterstroming wordt er mogelijk beïnvloed door verticaal gestuwde kleilagen (Zuurdeeg, 1991). De kwaliteit van het diepere grondwater in de omgeving van de Wildenborch is anaëroob en heeft een relatief hoge hardheid en ijzerconcentratie. De chlorideconcentratie is laag, de sulfaatconcentratie daarentegen hoog (De Vries, 1969; Dierx, 1987; Verkooijen et al., 1985; Van Duivenbooden, 1980; Van Duivenbooden et al., 1985).

In het dekzand zal naast de horizontale ook de verticale en radiale stromingscomponent van belang zijn. In deze *secundaire* stromingsstelsels manifesteren zich de kwel- en infiltratiefluxen en drainagefluxen naar de diepe ontwateringsmiddelen. De waterscheidingen tussen de grotere waterlopen in het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot vormen de grenzen tussen deze stelsels (figuur 1). De grondwatertrappenkaarten (Stiboka, 1979, Staatsbosbeheer, 1980) laten zien dat er zowel matig droge en droge (grondwatertrappen V* en VI) als vrij natte (grondwatertrap III) gronden voorkomen. Verschillen in factoren als overwegende stromingsrichting van het grondwater, aard van het doorstroomde bodemmateriaal, verblijftijd, ontwateringsdiepte en bemesting (depositie) maken dat de kwaliteit van het water in de secundaire stelsels gedifferentieerder zal zijn dan in het primaire stelsel, niet alleen ruimtelijk, maar ook in diepte en in tijd. Van het bovenste grondwater zijn weinig kwaliteitsgegevens bekend. De oppervlaktewaterkwaliteit van de grotere waterlopen wordt door het Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland gemeten. Behoudens enkele summiere analysegegevens uit het onderzoek van Zweers et al. (1992) is de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater in de Wildenborch onbekend.

Gesuperponeerd op de secundaire stelsels kunnen nog *tertiaire* stromingsstelsels worden onderscheiden. Deze stelsels omvatten de stroming naar ondiepe ontwateringsmiddelen en de stroming met als drijvende factor het micro-reliëf. Deze systemen functioneren alleen tijdens natte perioden en het zal in belangrijke mate uit recent geïnfiltreerd regenwater bestaan.

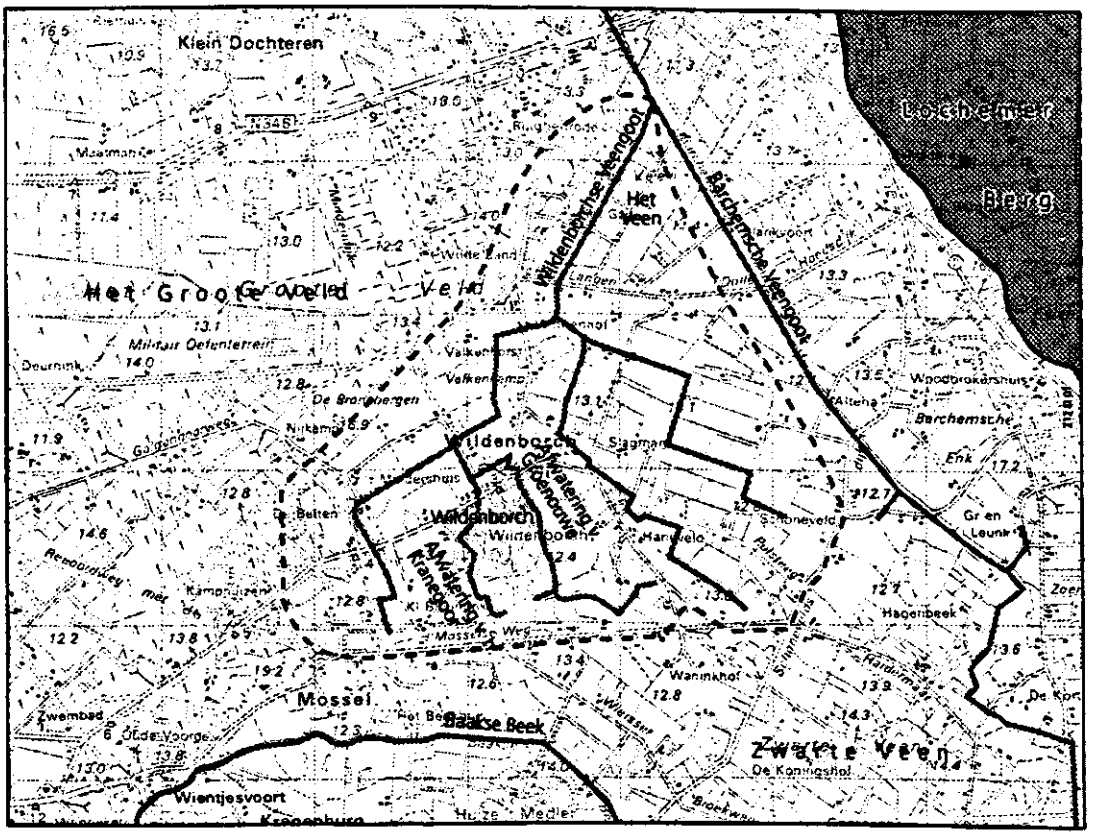


Fig. 1 Topografie en waterlopen

Via een meetnet zijn hydrologische en hydrochemische metingen in het primaire en secundaire stromingsstelsel verricht. Er is geen gericht onderzoek naar de tertiaire stelsels gedaan. De intensieve meetcampagne die daarvoor nodig is, valt buiten de gestelde randvoorwaarden.

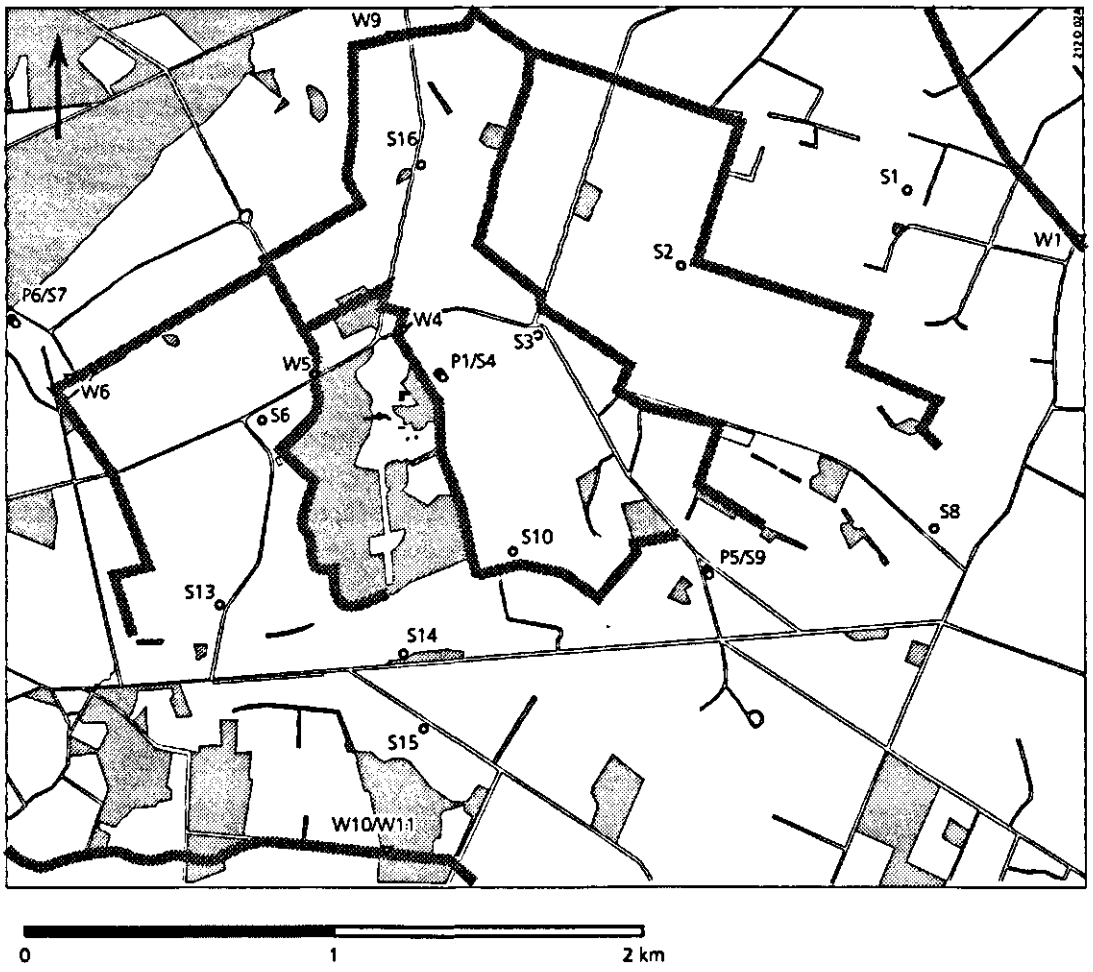


Fig.2a ***Overzicht van het grond- en oppervlaktewatermeetnet Het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot***

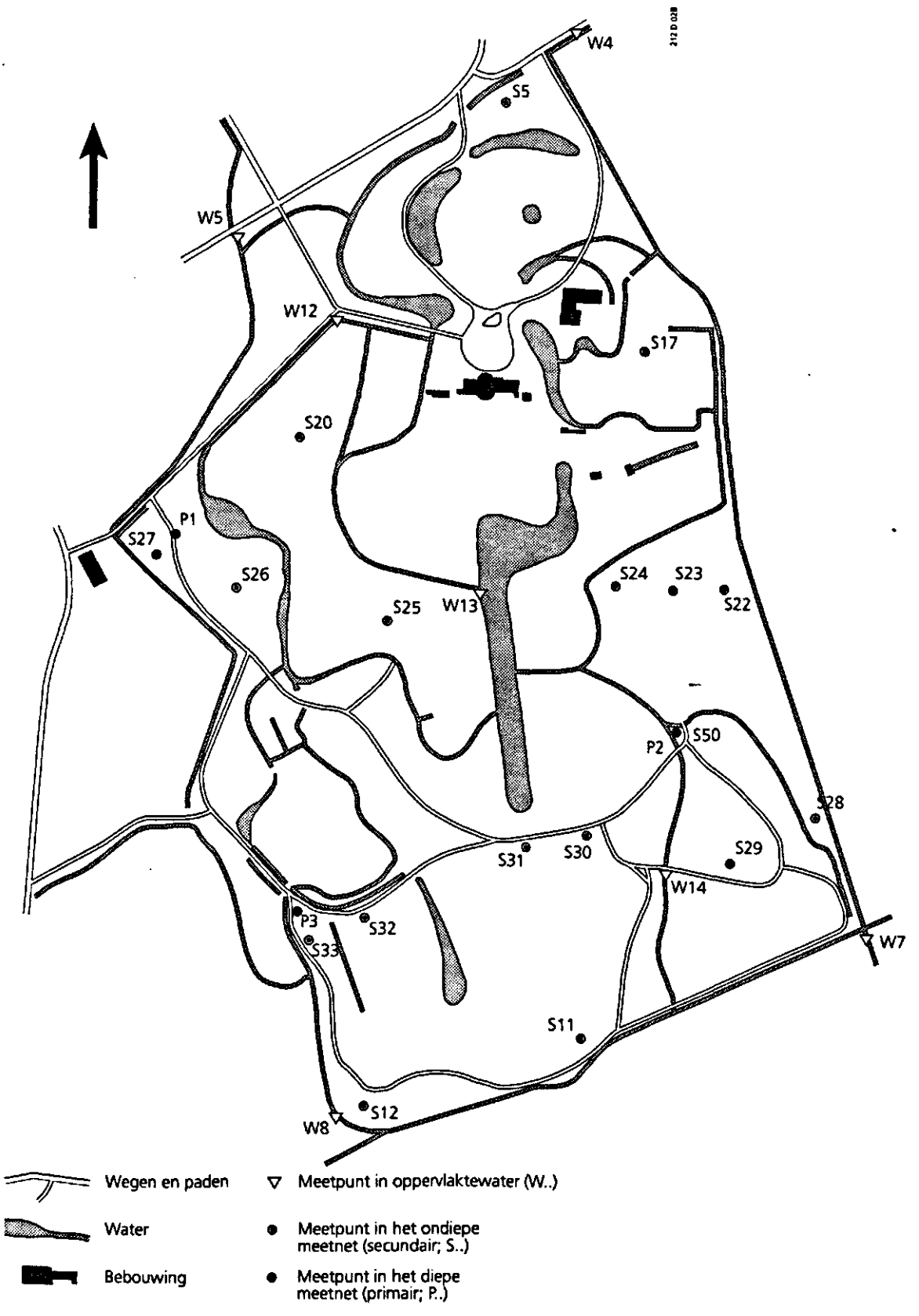


Fig. 2b Het landgoed de Wildenborch

Figuur 2a en b geven een overzicht van het ingerichte grond- en oppervlaktewater meetnet. Bestaande peilbuizen zijn hierin niet opgenomen, vanwege afwijkende filterdieptes en gebruikte materialen. De meetpunten liggen in het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot. Binnen het landgoed de Wildenborch is het meetnet dichter en is ook rekening gehouden met de topografie, de bodemgesteldheid en de begroeiing. Het meetnet voor het primaire stelsel omvat 6 plekken, waarvan er 3 in de Wildenborch zijn gesitueerd. Het secundaire meetnet bestaat uit 31 plekken waarvan 18 in de Wildenborch. Verder zijn in het oppervlaktewaterstelsel enkele meetpunten opgenomen.

De waterstanden worden in de periode april tot oktober 1993 tweewekelijks gemeten en verwerkt tot enkele isohypsenkaarten. Aan de hand van stijghoogteverschillen in het primaire en secundaire meetnet zijn potentiële infiltratie- en kwelgebieden geïnventariseerd. De grondwaterstandsgegevens zijn verder gebruikt om de vochtvoorziening voor de vegetatie en de berging te berekenen en de fluctuaties voor de actualisatie van de grondwatertrappen. Oude waterstandsgegevens zijn geanalyseerd om eventuele blijvende veranderingen in de waterhuishouding aan te tonen.

De kwaliteit van het water is 2x gemeten: aan het begin van de meetperiode (begin april) wanneer waterstanden nog hoog zijn en in de loop van de zomer (augustus) tijdens een drogere periode. Bij de secundaire meetpunten is het bovenste grondwater bemonsterd, omdat de kwaliteit van de capillaire flux daarmee samenhangt. Het grondwater is met een pomp uit de grondwaterstandsbuizen opgezogen en van vers toegestroomd water is een monster genomen. Hierin zijn de zuurgraad, het elektrisch geleidingsvermogen en de concentraties aan chloride, sulfaat, kalium, natrium, magnesium en calcium bepaald. Voor de bepaling van de concentratie bicarbonaat wordt een buisje direct gevuld en luchtdicht afgesloten. Daags na de bemonstering is daarin het gehalte anorganisch koolstof bepaald. Aan de hand van de pH wordt daaruit de concentratie bicarbonaat berekend (Groenendijk en Van der Bolt, 1990).

De kwaliteitsgegevens worden gebruikt om de variatie in ruimte en tijd te bepalen en om te relateren aan de hydrologische condities. Aan de hand van de samenstelling zal de mate van rijping van het water worden berekend (Van Wirdum, 1981).

Met het inrichten van het meetnet wordt tevens een aanzet gegeven voor een uitgebreide kartering van de bodemgesteldheid, de humusprofielen en de grondwatertrappen. De bestaande kennis over de bodemopbouw is voor dit onderzoek ontoereikend. Deze bestaat uit de bodemkaart 1 : 50 000 (STIBOKA, 1979) en enkele aanvullende boringen (Zweers, et al., 1992). Tijdens de kartering is ook de kalkdiepte en de grondwatertrap bepaald. Voor de bodemkartering worden grondboringen tot 2 meter uitgevoerd. De verkregen informatie geeft inzicht in de geschiedenis van het landgoed, het bodemmilieu en de vochtvoorziening. De waargenomen de hydromorfe kenmerken zullen worden gebruikt voor de actualisatie van de grondwatertrappen.
De bestaande kennis over de geologische opbouw zal worden aangevuld met resultaten van een aantal diepere boringen die voor de inrichting van het primaire meetnet nodig zijn.
Bij het onderzoek naar de humusprofielen zal aan de hand van de ruimtelijke

spreiding van de verschillende bodemtypen een beschrijving van de humusprofielen plaatsvinden. Op elf representatieve plekken zijn van de verschillende humuslagen monsters worden genomen. Geanalyseerd zijn de zuurgraad, de waterstof en calciumbezetting, het potentiële kationenadsorptiecomplex en de C/N en C/P verhouding. Deze gegevens geven uitsluitsel over de gevolgen van de verdroging op de status van het humuscompartiment.

Bij de bespreking van de resultaten zullen naast een beknopte beschrijving van het gebied 4 belangrijke deelaspecten worden onderscheiden: bodemgesteldheid, humusprofielen, hydrologie en hydrochemie. Elk onderdeel wordt afgesloten met conclusies. In een apart hoofdstuk wordt een synthese gemaakt van de onderlinge relaties en worden de mogelijkheden voor vernatting besproken.

2 Beschrijving van het gebied

2.1 De omgeving van het landgoed de Wildenborch

Zowel wat betreft de topografie als de bodemgesteldheid vormt de lijn Aalten-Lichtenvoorde-Groenlo-Eibergen de grens tussen het oostelijk gelegen ondoorlatend, naar het westen hellend plateau en het westelijk gelegen dikke zandpakket dat een minder steil verhang heeft. Het westelijke gedeelte wordt begrensd door drie rivieren die de afvoerbasis van het gebied vormen: de Berkel in het noorden, de IJssel in het westen en de Oude IJssel in het zuiden. De Wildenborch ligt aan de noordzijde van dit gebied, waar de diepe grondwaterstroming vooral door de IJssel en in mindere mate door de Berkel wordt bepaald. Hogere ruggen en beken bepalen de ondiepe grondwaterstroming. Een groot aantal beken is gegraven. Zo dienden zogenaamde laken voor de begrenzing van eigendommen en voor de verbetering van de ontwatering. Verder zijn er waterlopen (veengoten) gegraven die onder andere de vele venen en moerasachtige gedeelten moesten ontwateren die het gebied rijk was. Rond de Wildenborch waren de venen al voor 1850 afgegraven en zijn geen relicten meer aangetroffen (Bakker et al., 1981; Stiboka, 1979). Deze gebieden, zoals het voormalige Lochemer Veen ten noorden en het Zwarte Veen ten zuidoosten van de Wildenborch, zijn hoofdzakelijk tot grasland ontgonnen. Op de parkbossen en de erg natte broekbossen na waren de lage gronden in de vorige eeuw al landbouwgebieden. De grond van een voormalig nat loofbos dat tot het landgoed behoorde is begin deze eeuw nog in cultuur gebracht. Verder zijn de met bemeste plaggen opgehoogde gronden al eeuwen als bouwland in gebruik. Dergelijke gronden komen verspreid rond de Wildenborch voor, met een wat groter complex op enkele honderden meters aan de westzijde. De laatste grootschalige ontginningen betreffen het Groote Veld dat ten noordwesten van de Wildenborch ligt. De relatief hoge zandgronden waren vorige eeuw nog met een aaneengesloten heidebegroeiing bedekt. In de eerste helft van deze eeuw heeft globaal de helft van het gebied een agrarische bestemming gekregen en is de rest via opslag en aanplant grotendeels begroeid met grove den. Ook de hoge zandgronden van de Lochemer berg, die op 4 km ten noordoosten van de Wildenborch ligt, zijn met dennen begroeid.

De laagte tussen de Lochemer berg in het oosten en het Groote Veld in het westen waarin de Wildenborch ligt, waterde tot 1801 in zuidelijke richting op de Baaksche beek af (Jolles, 1941). Door het graven van de Wildenborchsche Veengoot werd via de eerder gegraven Oude Veengoot, die het Lochemer Veen moest ontwateren, een aansluiting met de noordelijker gelegen Berkel verkregen (figuur 1). Het totale stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot heeft een oppervlakte van 680 ha. In 1958 is op ruim 1 km voor de aansluiting op de Barchemsche Veengoot een gemaaltje voor onderbemaling geplaatst om grote afvoeren snel te kunnen verwerken. Waterinlaat is tot in het aansluitende pand in de Barchemsche Veengoot mogelijk. Verder in het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot kan geen water worden ingelaten. De meest recente beïnvloeding van de waterhuishouding heeft plaatsgevonden in 1960. Toen is een gedeelte van de Afwatering van Groenouwe gegraven en zijn de meeste waterlopen in het stroomgebied opnieuw geprofileerd en 50cm verdiept (mededeling Waterschap van de Berkel).

Voor het hydrologisch systeem zijn ook de waterwinningen van Lochem en Dennenwater van belang. De winplaats Dennenwater bij Vorden ligt 3 km ten westen van het landgoed. Momenteel wordt er circa 1,3 miljoen m^3 op jaarbasis uit het watervoerende pakket onttrokken. De winplaats Lochem is gesitueerd op de Lochemer berg, op 4 km ten noordoosten van het landgoed. De gewonnen hoeveelheid bedraagt ongeveer 2,4 miljoen m^3 per jaar.

2.2 Het landgoed De Wildenborch

Over de historie van de Wildenborch zijn meerdere publikaties verschenen (o.a. Alta, 1952; Harenberg, 1975; Tengbergen, 1988 en Boogaard et al, 1990), waarin wordt aangegeven dat de eerste vesting op de plek van het huidige kasteel uit de 14e mogelijk zelfs 13e eeuw dateert. Het lag in een ontoegankelijke, moerasachtige laagte. In de loop der eeuwen werd door veenafgravingen en ontbossingen het gebied natter. Toponiemen als Stuwdijk, Vennenhof en Zwarte Veen herinneren nog aan deze periode. Landschappelijk gezien duurde het tot aan het begin van de 19e eeuw voordat er wezenlijke veranderingen plaatsvonden. A.C.W. Staring, de toenmalige eigenaar van het 480 ha omvattende landgoed, heeft woeste gronden ontgonnen, delen bebost en de vijvers en grachten in het park vergraven (Demoed, 1990). Vervolgens heeft zijn zoon, W.C.H. Staring als landbouw- en bodemkundige in grote delen van de Achterhoek aangepaste landbouwmethoden ingevoerd, waarvan een verdere verbetering van de afwatering een belangrijk onderdeel vormde (Veldink, 1970). Nabij de Wildenborch resulteerde dat in het graven van de Wildenborchsche Veengoot (1802). Later werd ook de Barchemsche Veengoot gegraven (1839) en hierop aangesloten (figuur 1). In 1907 werd het landgoed geveild en werd het imposante bos, dat volgens F.W. van Eeden (1886) *'door zijn oorspronkelijke woestheid alle bosschen in deze streken overtreft'*, aan houthandelaren verkocht en goeddeels gekapt. Een gedeelte werd opnieuw aangeplant. De tuin rond het kasteel en de begrenzing van het park zijn in de afgelopen decennia nog een aantal keren aangepast voor het zijn huidige vorm heeft gekregen. In 1960 is de bovenloop van de Afwatering van Groenouwe, die langs de zuidgrens van de Wildenborch op de Afwatering van het Kranengoor was aangesloten, via een nieuw gegraven waterloop langs de oostgrens van het landgoed geleid. Nu komen beide Afwateringen even ten noorden van het landgoed weer samen.

Het huidige landgoed heeft een oppervlakte van 34 ha. Het gedeelte rond het kasteel, in totaal 16 ha, is in eigendom van de Stichting de Wildenborch. Hierin liggen de tuinen, een weiland en enkele vijvers. Het parkbos dat aan de zuidzijde hierbij aansluit wordt aangeduid als het 'Bosket'. Staatbosbeheer is er de eigenaar van. Hierin liggen ook enkele weilandjes (figuur 3). In het bosgedeelte komen 5 bosgemeenschappen voor (Bureau Bakker, niet gepubl.):

- Vogelkers-Essenbos. Dit bostype is kenmerkend voor min of meer lemige, drassige bodems met een matig tot grote basenrijkdom (van der Werf, 1991).
- Eiken-Haagbeukenbos. Dit type komt wordt vaak aangetroffen op een zware, kalkhoudende ondergrond met daarop een lemige tot zandige, vrij natte en wat minder basische bovengrond.

- Gierstgras-Beukenbos. Dit type is kenmerkend voor vochthoudende, matig voedselrijke leemgronden.
- Wintereiken-Beukenbos. Dit type komt voor op matig arm, lemig zand met een wisselende vochtvoorziening.
- Berken-Zomereikenbos. Dit type is kenmerkend voor droge, voedselarme, zure zandgronden.

Uit een globale vergelijking van inventarisaties van de vegetatie uit 1979 en 1991 blijkt dat met name soorten van vochtige loofbossen zijn verdwenen, onder andere Eenbes en Vogelnestje, of in aantal zijn afgenomen zoals Kruipend zenegroen en Witte klaverzuring (Zweers, et al., 1992). Een toename van droogte-indicatoren kon niet worden aangetoond.

2.3 Conclusies

Belangrijke ontwikkelingen die van invloed zijn op de regionale waterhuishouding zijn:
- Het afgraven van veen en het ontbossen waardoor de berging van water sterk is verminderd.
- Het aanleggen van waterlopen en vergraven van bestaande beken met als gevolg een snellere afwatering en diepere ontwatering.
- Het onttrekken van grondwater.
- Uitbreiding en intensivering van het landbouwareaal met kwalitatieve gevolgen voor het milieu.
- Vermesting en depositie waardoor de kwaliteit is veranderd.

Naast regionale ontwikkelingen zijn er op lokaal niveau ingrepen geweest die van invloed zijn op de waterhuishouding en het bodemmilieu in het landgoed:
- Het graven en vergraven van vijvers en grachten cq. het ophogen van het omringende maaiveld.
- Het ontbossen en vervolgens de aanplant en ontwikkeling van een nieuw bos.
- De aanleg en verbetering van de Afwateringen van het Kranengoor en Groenouwe.

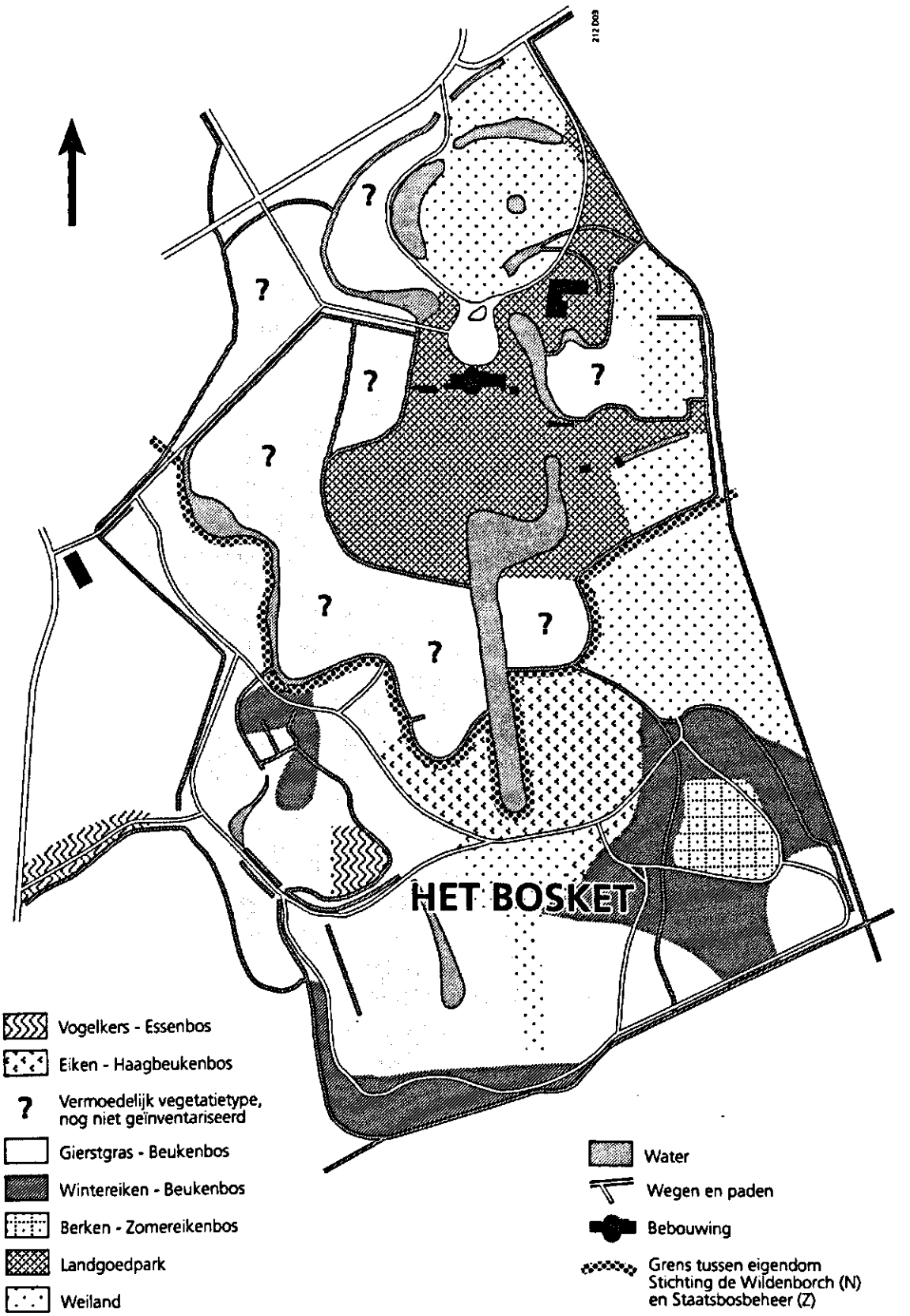


Fig. 3 Overzichtskaart van het landgoed de Wildenborch

3 Geologie en bodem

3.1 Geologische opbouw

Kennis van de geologie van Oost-Nederland is nodig om de hydrologische gesteldheid van het gebied te kunnen begrijpen. Een aantal studies gaat daar uitgebreid op in (Ernst, et al., 1970; Grootjans, 1984; Rijksgeologische Dienst, 1991; Engelen, 1993). Voor de globale beschrijving van de geologische opbouw van het gebied is gebruik gemaakt van de toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland (Zagwijn en van Staalduinen, 1975) en de Toelichting bij de kaarten 34 West en Oost van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000.

Als gevolg van bodemdalingen in het Tertiair is er een denkbeeldige lijn ontstaan tussen Groenlo-Eibergen en Delden die de grens vormt tussen het hoger gelegen Oostnederlands plateau en het westelijk gelegen lagere deel. Het gebied van de Wildenborch ligt in het westelijk gelegen dalingsbekken of Noordzeebekken. Tijdens het Plioceen en in het begin van het Pleistoceen heeft de zee zich geleidelijk aan in westelijke richting teruggetrokken. In het Oostnederlands plateau komen aan of dicht aan de oppervlakte afzettingen voor uit het Krijt. Ze bestaan uit kalksteen, mergelachtige kleien en zandsteen. Uit het Tertiair komen eocene, oligocene en miocene kleien plaatselijk aan de oppervlakte voor. In het westelijke deel komen deze op ca 35 meter beneden maaiveld. In het Midden Pleistoceen werden door de Rijn grove zanden afgezet op de tertiaire kleien, die tot de Formatie van Urk behoren (figuur 4). In figuur 5 staat de schematisatie vanaf de tertiaire basis in de omgeving van de Wildenborch.

In de voorlaatste ijstijd, het Saalien, bereikte het landijs vanuit Scandinavië ons land. Een ijslob verplaatste zich tussen de Veluwe en de Sallandse en Achterhoekse heuvels die als resultante daarvan werden opgestuwd. Na het afsmelten van het landijs bleef op veel plaatsen morenemateriaal achter in de vorm van een laag keileem. In het westelijke deel ligt de keileem plaatselijk op 30 meter diepte. Er zijn aanwijzingen dat tussen de Lochemerberg en Montferland in de ondergrond een begraven stuwwal voorkomt, met daarin gestuwde kleilagen (Engelen, 1993). Tijdens het afsmelten van het ijs zijn door het smeltwater in dit gebied grindhoudende grove zanden afgezet met daarin veel materiaal van noordelijke herkomst. In het begin van het Weichselien heeft de naar het noorden stromende Rijn ten westen van het Oostnederlandse plateau over een grote uitgestrektheid in een vlechtend riviersysteem kalkrijk, bont, grindhoudend, grof zand afgezet. Deze laag, die tot de Formatie van Kreftenheye wordt gerekend, is enkele tientallen meters dik en begint op 3 à 4 meter beneden maaiveld. Ook zijn in die tijd door de Berkel en de Dinkel geringe hoeveelheden zand en grind afgezet.

De hydrologische basis wordt gevormd door de tertiaire afzettingen. De hierboven voorkomende grove zanden vormen één watervoerend pakket met een doorlaatvermogen van 2000 m^2/etm. (Smoor en de Ridder, 1972). Bij een dikte van het pakket van 35 meter betekent dat een doorlaatfactor van ongeveer 57 m/etm, een waarde die voor grove, grindhoudende zanden niet ongebruikelijk is.

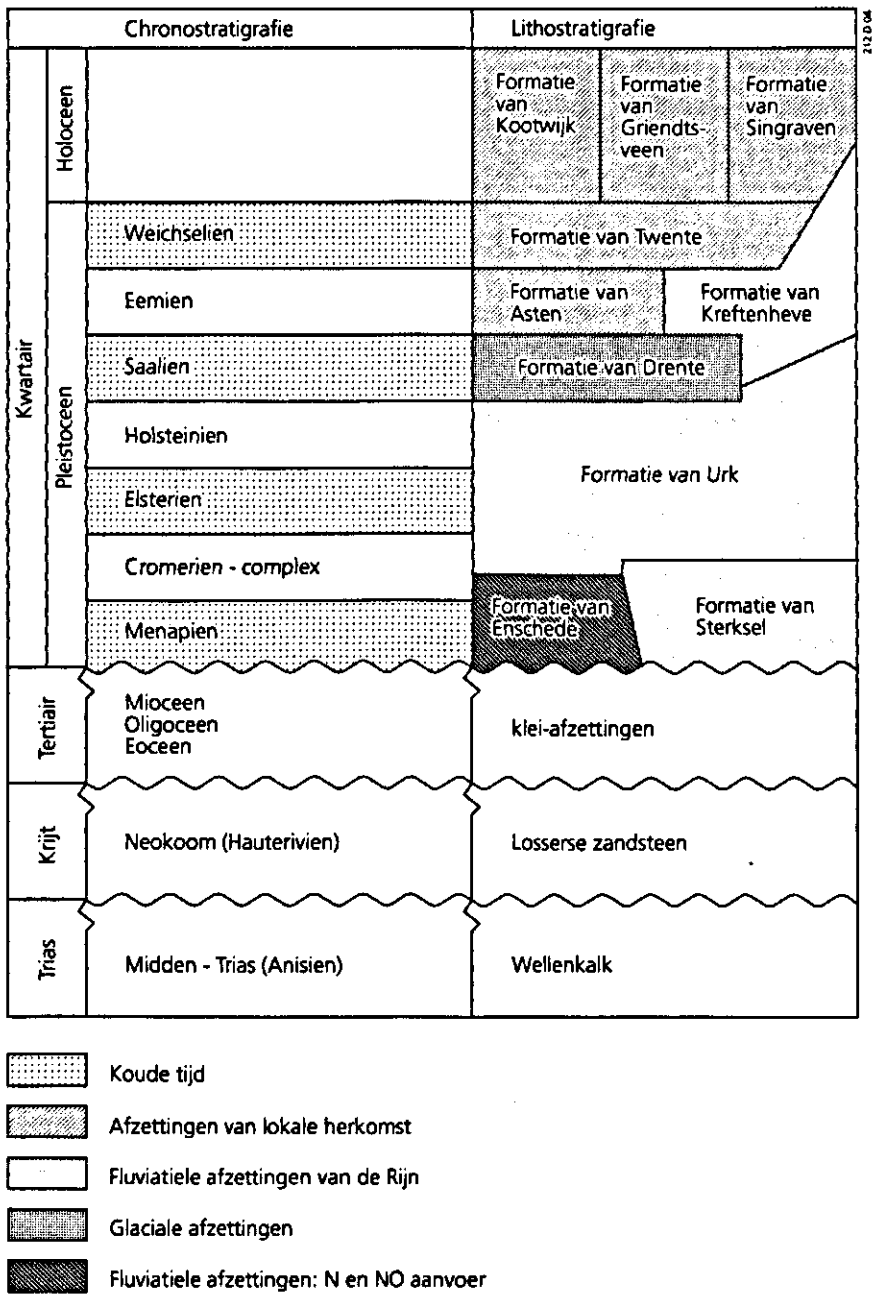


Fig. 4 Stratigrafisch overzicht van de beschreven afzettingen

In de laatste ijstijd tijdens het Weichselien zijn in dit gebied grote hoeveelheden dekzand afgezet. Deze eolische afzettingen behoren tot de Formatie van Twente en bestaan uit Oud dekzand uit het Midden-Weichselien en Jong dekzand uit het Laat Weichselien. Het Oude dekzand is lemiger, gelaagd en heeft een vlakkere ligging dan het Jonge dekzand. In de beekdalen zijn de dekzanden verspoeld. Op veel plaatsen is het dekzand in de ondergrond kalkhoudend. De overgang tussen het dekzand en het onderliggende watervoerende pakket ligt op 3 tot 7 meter beneden

maaiveld. De doorlaatfactor van het dekzand bedraagt ca. 0,75 m/etm (Wösten et al., 1987).

Afzettingen uit het Holoceen komen voor in de beekdalen. Het zijn verspoelde zanden, klei- en veenlagen. Ze worden tot de Formatie van Singraven gerekend. De kleilagen zijn verschillend van dikte en zwaarte en bevatten soms veel ijzerverbindingen. Tot de Formatie van Singraven behoort ook het broekveen.
Op de plaatsen waar voor het onderzoek diepe grondwaterstandsbuizen zijn geplaatst (figuur 2) zijn van zes locaties beschrijvingen gemaakt van de opbouw en samenstelling van de bodem (aanhangsel I). De dikte van het sterk tot zeer sterk lemige dekzand bedraagt 3 - 7 meter. Aan de zuidwestzijde van het landgoed de Wildenborch ligt op 3 - 4 meter diepte een kleilaag. Het betreft een lokale afzetting van matig zware klei.

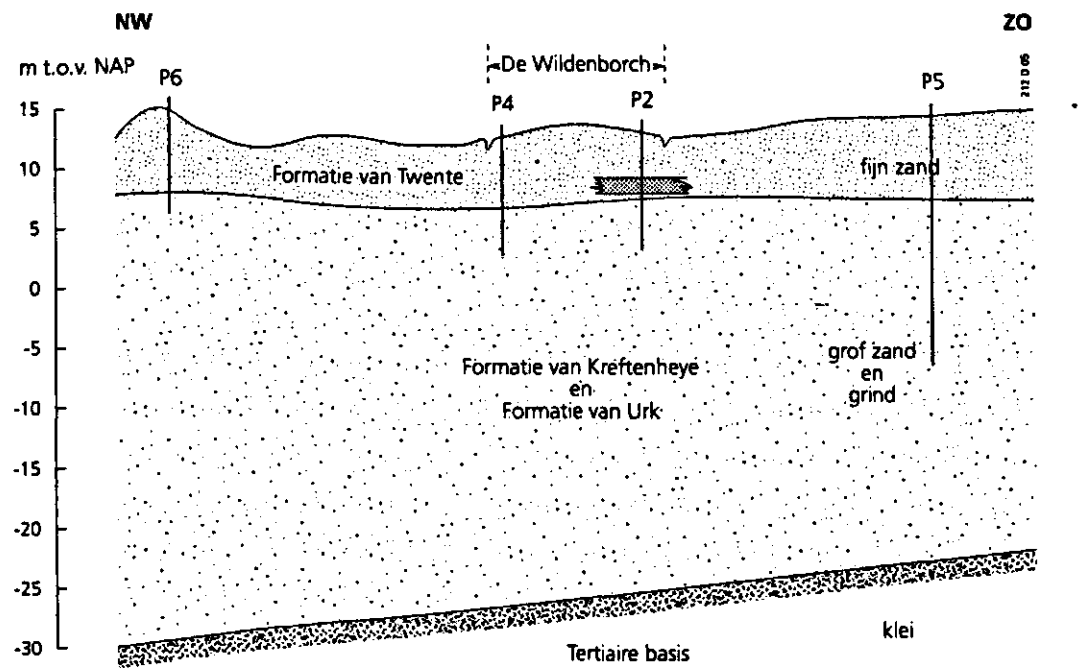


Fig. 5 Geologische schematisatie in de omgeving van de Wildenborgh

Verondersteld is, dat de begraven stuwwal van groot belang zou kunnen zijn voor de hydrologie van het landgoed de Wildenborch (Zuurdeeg, 1991). Door de stuwing zouden de kleilagen in een verticale positie zijn komen te liggen en zo een barrière vormen voor de grondwaterstroming. De Rijks Geologische Dienst (1991) veronderstelt een vrij westelijke ligging van de stuwwal, waarbij de Wildenborch op de noordwestelijke flank ligt. Engelen (1993) geeft op grond van aanvullende informatie een ligging ruim ten oosten van het landgoed. Deze laatste situering sluit aan bij het feit dat de stuwwal bij geen van de 6 boringen is aangetroffen.

3.2 Bodemgesteldheid van het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot

De in het stroomgebied aangegeven bodemenheden zijn ontleend aan de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000, waarbij het veldwerk in 1978 werd afgesloten (figuur 6).

Fig. 6 Fragment van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000

Er komen dekzanden voor met daarin sterk tot zeer sterk lemige gooreerdgronden (pZn23), die vergeleken met de vroegere situatie vóór het graven van de Wildenborchsche Veengoot, nu redelijk ontwaterd zijn. Het gebied werd in de tweede helft van de vorige eeuw ontgonnen. De Veengoot doorsnijdt een hoger gelegen dekzandrug even ten noorden van het landgoed. Op deze landschappelijk hoger gelegen rug komen laarpodzolgronden voor (cHn23). Het hele gebied wordt aan de westzijde begrensd door Het Groote Veld, een hoger gelegen dekzandgebied met leemarme en zwak lemige veld- en haarpodzolgronden (Hn21, Hd21). Op de grens van de twee genoemde gebieden komt plaatselijk stuifzand voor. In het noordoosten wordt het gebied begrensd door de stuwwal van de Lochemer berg. Hierin komen

grofzandige holtpodzolgronden voor (Y30). Ten zuidwesten van de stuwwal liggen gordeldekzanden en stuifzanden met daarin zwak en sterk lemige laarpodzolgronden (cHn23) en duinvaaggronden (Zd21). Ten oosten en zuidoosten van het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot ligt een uitgestrekt laaggelegen gebied met daarin enkele dekzandruggen. Dit is het stroomgebied van de Baaksche Beek. Er komen sterk en zeer sterk lemige beekeerdgronden voor (pZg23). Op veel plaatsen hebben de beekeerdgronden een dun zavel- of kleidek (kpZg23). In deze gronden heeft veel verrijking met ijzer plaatsgevonden (fkpZg23). In de ondergrond zijn deze gronden kalkhoudend. Ten zuiden van het landgoed komen kleigronden voor (fRn62C), poldervaaggronden met een 40 tot 50 cm dik zavel- of kleidek. In de dekzandruggen komen veld- en laarpodzolgronden (Hn23, cHn23) voor.

3.3 Indeling van de gronden en opzet van de legenda in het landgoed de Wildenborch

In het veld zijn de gronden per boorpunt gedetermineerd volgens het systeem van bodemclassificatie voor Nederland van De Bakker en Schelling (1989). Dit is een morfometrisch classificatiesysteem; het gebruikt meetbare kenmerken van het profiel als indelingscriterium. Vervolgens zijn de gronden in karteerbare eenheden ingedeeld. Deze eenheden zijn in een legenda ondergebracht, omschreven en verklaard. Op bepaalde punten is van de landelijke indeling afgeweken. Op het hoogste niveau prevaleert de grondsoort zand en op een lager niveau is bij de zandgronden de indeling naar textuur aangepast. Er komen 7 legenda-eenheden voor. Tussen [] staat de code voor een indelingscriterium.

Zandgronden zijn minerale gronden (zonder moerige bovengrond of moerige tussenlaag) die tussen 0 en 80 cm - mv. voor meer dan de helft van die dikte uit zand bestaan. Binnen de zandgronden zijn naar de aard van de bodemvorming in het landgoed de Wildenborch podzolgronden[H] en eerdgronden[Z] onderscheiden. Binnen de podzolgronden komen alleen veldpodzolgronden voor [Hn]. Binnen de eerdgronden komen dunne, matig dikke en dikke eerdgronden voor. Tot de dunne eerdgronden behoren de beekeerdgronden[Zg] en de gooreerdgronden[Zn]; tot de matig dikke eerdgronden zijn de beekeerdgronden en gooreerdgronden met een matig dik cultuurdek[cZg en cZn] gerekend; tot de dikke eerdgronden behoren de enkeerd-gronden[EZ].

De zandgronden bestaan naar textuur van de bovengrond uit:
zandgrofheid:
- zeer fijn zand [3...];
lemigheid:
- sterk lemig zand [...5];
- sterk en zeer sterk lemig zand [...6].

Moerige gronden [W] zijn minerale gronden met een 15-40 cm dikke moerige bovengrond, of een 15-40 cm dikke moerige tussenlaag die binnen 40 cm begint.

Binnen de moerige gronden komen moerige eerdgronden [Wz] en moerige podzolgronden voor [Wp].

In de legenda van de bodemkaart zijn de verschillen in bodemgesteldheid weergegeven in de vorm van:
- legenda-eenheden;
- samengestelde legenda-eenheid;
- toevoegingen;

Legenda-eenheden bestaan voor ten minste 70% van hun oppervlakte uit gronden met een groot aantal overeenkomende kenmerken en eigenschappen. Iedere legenda-eenheid heeft een eigen code en is door een lijn begrensd: de bodemgrens.

Een samengestelde legenda-eenheid bestaat uit twee enkelvoudige legenda-eenheden die niet afzonderlijk op de kaart kunnen worden gezet.

Toevoegingen geven extra informatie op de bodemkaart en worden met een code en/of een raster aangegeven. Ze worden vlaksgewijs weergegeven en afgegrensd met een onderbroken lijn, voor zover deze niet samenvalt met een bodemgrens.

3.3.1 Beschrijving van de gronden van het landgoed de Wildenborch

Podzolgronden - Veldpodzolgronden
Veldpodzolgronden zijn humuspodzolgronden met een duidelijke podzol-B-horizont (inspoelingshorizont), waarin amorfe humus voorkomt, die in disperse vorm is ingespoeld. De Ah-horizont is dunner dan 35 cm.

Hn35 Veldpodzolgrond in zeer fijn [3] sterk lemig [5] zand
Veldpodzolgronden komen voor in het zuidoostelijke deel van het landgoed in een enigszins hoger gelegen dekzandrug. De bovengrond is plaatselijk verwerkt. Het organische stofgehalte van de bovenste 25 cm bedraagt ca. 4% en kan in de bovenste 10 cm tot 9% oplopen (Figuur 10; monster WB IV). Plaatselijk is de humeuze bovengrond 30-40 cm dik. De humuspodzol-B horizont is vrij dun en gaat binnen 50 cm - mv. over in een Cu of Ce-horizont. Deze dunne inspoelingshorizont duidt op een geringe infiltratie in een situatie met permanent hoge grondwaterstanden. De zandgrofheid van de veldpodzolgronden bedraagt ca. 140 µm in de bovengrond en varieert van 120 tot 195 µm in de ondergrond. Het leemgehalte bedraagt ca. 20% in de bovengrond en loopt uiteen van 11 tot 20% in de ondergrond. Op 160-170 cm - mv. is de ondergrond kalkhoudend.

Eerdgronden
Naar de dikte van de minerale eerdlaag zijn de eerdgronden onderverdeeld in dunne (<35cm), matig dikke (35-50 cm) en dikke (>50 cm) eerdgronden.

Dunne eerdgronden
Alle dunne eerdgronden in dit gebied hebben hydromorfe kenmerken. Ze zijn naar het voorkomen van roest gesplitst in beekeerdgronden en gooreerdgronden.

Beekeerdgronden
Beekeerdgronden zijn zandgronden met een minerale eerdlaag die in de meeste gevallen zwart, maar een enkele keer bruin van kleur is. Het zijn gronden die tot de gereduceerde ondergrond roestig zijn. Soms is de roest over geringe diepte onderbroken.

pZg36 Beekeerdgronden in zeer fijn [3] sterk en zeer sterk lemig [6] zand
Een groot gedeelte van het landgoed de Wildenborch bestaat uit beekeerdgronden. Het zand bestaat uit sterk en zeer sterk lemig dekzand en uit sterk lemig zeer en matig fijn verspoeld dekzand. Bij een deel van de beekeerdgronden komt een zavel- of kleidek voor (toevoeging k...). De dikte van de humushoudende bovengrond bedraagt 15-30 cm. Het organische stofgehalte varieert daarin van 2-6% en kan in de bovenste 10 cm oplopen naar 8,5%. De bovengrond bevat 18-35% leem, 4-12% lutum en de zandgrofheid bedraagt 130-140 µm. De ondergrond bestaat uit sterk lemig zeer fijn zand. De begindiepte van de kalkhoudende ondergrond ligt tussen de 90 en 180 cm - mv. Op veel plaatsen komt boven de permanent gereduceerde zône een 10-20 cm dikke overgangszône voor waarin behalve reductievlekken en een grijze kleur ook roestvlekken voorkomen. De oxydatie van ijzer net boven de reductiezone duidt op een grondwaterstandsverlaging, mogelijk als gevolg van de droge zomers van 1991 en 1992. Een deel van de gronden in het zuidwestelijke deel van het gebied is verwerkt en op rabatten gelegd (toevoeging →r). Op een tweetal plaatsen elders in het gebied is op 50-60 cm - mv. een dunne veenlaag aangetroffen. Dit kan een gevolg zijn van ophogen van voormalige broekeerdgronden of van het dempen van een oude gracht.

Gooreerdgronden
Gooreerdgronden zijn zandgronden met een zwarte minerale eerdlaag en niet of ten dele roestig zijn.

pZn35 Gooreerdgrond in zeer fijn [3] sterk lemig [5] zand
Gooreerdgronden komen in een kleine oppervlakte voor in het zuidwestelijke deel van het landgoed in een wat hoger gelegen dekzandkopje. De laag 0-25 cm bevat 4% organische stof, 18% leem en de zandgrofheid bedraagt ca 140 µm. De ondergrond is sterk gelaagd en bestaat uit leemarm tot sterk lemig, matig fijn zand. Op 170 cm - mv. is de grond gereduceerd en kalkrijk. Binnen de beekeerdgronden komen gronden voor die eveneens tot de gooreerdgronden gerekend moeten worden. Omdat het hier gaat om gronden die zijn opgehoogd met materiaal waarin geen roest voorkomt komen deze gronden in een associatie met beekeerdgronden op de bodemkaart voor.

Matig dikke eerdgronden
Matig dikke eerdgronden zijn eerdgronden met een cultuurdek dat 35-50 cm dik is. In het landgoed komen matig dikke beekeerdgronden en matig dikke gooreerdgronden

voor. De homogene donkere humeuze bovengrond is ontstaan door langdurige grondbewerking of door ophoging met humeus materiaal van elders.

cZg35 Beekeerdgronden met cultuurinvloed in zeer fijn [3] sterk lemig zand [5]
Beekeerdgronden met cultuurinvloed komen over een vrij grote oppervlakte voor in het bij het huidige kasteel behorende parkgedeelte en het aangrenzende bos. Door ophoging (toevoeging ↑) met materiaal deels afkomstig uit de aangelegde waterpartijen zijn de gronden buiten de invloedssfeer van de hoogste grondwaterstanden gekomen. De humeuze bovengrond is ontstaan door ophoging en intensieve grondbewerking. De dikte van de humeuze bovengrond varieert van 20 tot 45 cm. De zandgrofheid van het cultuurdek is 130-140 µm. Deze bevat 4-10% organische stof en 18-38% leem met plaatselijk enige lutumbijmenging. Onder de humeuze bovengrond bevindt zich plaatselijk nog een heterogene (opgebrachte) humushoudende zandlaag. De opbouw van de ondergrond komt overeen met die van de dunne beekeerdgronden. De kalkrijke ondergrond begint tussen 110 en 140 cm - mv.

cZn35 Gooreerdgronden met een matig dik cultuurdek in zeer fijn [3] sterk lemig [5] zand
Gooreerdgronden met cultuurinvloed komen op een tweetal plaatsen voor in het noordelijke en in het zuidelijke gedeelte van het landgoed. De humushoudende bovengrond is 35-45 cm dik en bevat 3-5% organische stof. De aanwezigheid van deze humeuze laag is ten dele een gevolg van intensieve menging met de ondergrond en ten dele een gevolg van ophoging. In het zuidelijke gedeelte bestaat de ondergrond onder het cultuuurdek uit zeer en matig fijn zwak en sterk lemig zand, dat beginnend tussen 80 en 170 cm - mv. kalkrijk is. In het noordelijke deel bestaat het profiel tot 70 à 100 cm - mv. uit opgehoogd materiaal. Daaronder komt een dunne veenlaag voor. Het betreft hier opgehoogde lage natte broekeerdgronden die daarna in cultuur genomen zijn. De begindiepte van de kalkrijke ondergrond loopt uiteen van 120-170 cm - mv.

Dikke eerdgronden - Enkeerdgronden
Enkeerdgronden zijn zandgronden met een dikke >50 cm zwarte humushoudende bovengrond.

zEZ35 Enkeerdgronden in zeer fijn [3] sterk lemig [5] zand
Enkeerdgronden komen over een aanzienlijke oppervlakte voor rond het kasteel, in het uiterste noordelijke deel en het zuidelijke deel van het landgoed. De dikte van het cultuurdek varieert van 45-100 cm. Het organische-stofgehalte bedraagt 3-7%. Het cultuuurdek is overwegend sterk lemig met 18-25% leem en heeft een zandgrofheid van ca. 150 µm. Rond het kasteel bevat het cultuurdek veel puinresten. In tegenstelling tot de meeste enkeerdgronden in de Achterhoek bestaat de ondergrond niet uit een dekzandrug met daarin een podzolprofiel. Alleen in het zuidelijke deel aansluitend aan de moerpodzolgronden is onder het cultuurdek een podzolprofiel aangetroffen. In het overige deel komt de ondergrond overeen met de elders in het landgoed aangetroffen beekeerdgronden en broekeerdgronden. Ten zuiden van het kasteel komt beginnend tussen 60 en 120 cm - mv. een 20 tot 30 cm dikke veenlaag voor direct onder het opgebrachte cultuurdek. Het vermoeden bestaat dat de

fundamenten van het oorspronkelijke kasteel gebouwd zijn in een lage en zeer natte bodem, en dat de gronden rond het kasteel later opgehoogd zijn met materiaal van enkeerdgronden uit de omgeving. Met uitzondering van het noordelijke deel komt binnen 180 cm - mv. een kalkrijke ondergrond voor.

Moerige gronden [W]
Binnen de moerige gronden komen moerige podzolgronden en moerige eerdgronden voor.

Moerige podzolgronden [Wp] - Moerpodzolgronden [vWp]
Moerige podzolgronden zijn gronden met een moerige bovengrond of moerige tussenlaag en een duidelijke podzol-B in de zandondergrond.

vWp Moerpodzolgrond met een moerige bovengrond
Moerpodzolgronden komen voor in het zuidwestelijke deel van het landgoed op een dekzandrugje waarin ook veldpodzolgronden voorkomen. De ca. 20 cm dikke moerige bovengrond is ontstaan als gevolg van een slechte strooiselvertering onder natte omstandigheden en bevat ongeveer 20% organische stof. De humuspodzol-B-horizont is zwak ontwikkeld en gaat geleidelijk over in de grijze bijna gereduceerde ondergrond. Hierin komen als gevolg van oxydatie roestvlekken voor. Op 170 cm - mv. is de ondergrond permanent gereduceerd. Op 130 cm - mv. is de ondergrond kalkrijk.

Moerige eerdgronden [W] Broekeerdgronden [vWz]
Moerige eerdgronden zijn gronden met een moerige bovengrond [v..] of een moerige tussenlaag op zavel of klei of op zand zonder podzol-B [..z]. In het landgoed komen alleen broekeerdgronden voor met een moerige bovengrond [v..] en een moerige tussenlaag [z..].

vWz Broekeerdgronden. Moerige eerdgronden met een moerige bovengrond [v..] en een zandondergrond [z]
Broekeerdgronden met een moerige bovengrond komen voor in een graslandperceel in het oostelijke deel van het landgoed. De 20-30 cm dikke moerige bovengrond bestaat uit veraard veen. Onder deze laag komt een 10-15 cm dikke kleilaag voor. Vanaf 40-50 cm - mv bestaat de ondergrond uit zeer sterk lemig zeer fijn zand. De gereduceerde ondergrond begint tussen 80 en 110 cm - mv. en is kalkrijk. Vermoedelijk is de verbreiding van deze gronden groter geweest gezien de veenlagen die elders aangetroffen zijn onder een ophoogdek.

zWz Broekeerdgronden. Moerige eerdgronden met een moerige tussenlaag [z..] en een zandondergrond [z]
Broekeerdgronden met een moerige tussenlaag komen voor in een klein gedeelte in het westen van het landgoed ter hoogte van de Kapel. De ca. 15 cm dikke veenlaag is opgehoogd met een 40 cm dik zanddek waarin zich een minerale eerdlaag heeft ontwikkeld. De ondergrond is binnen 180 cm - mv. gereduceerd en bestaat uit sterk en zeer sterk lemig zeer fijn dekzand of verspoeld dekzand waarin grofzandige lagen voorkomen. Daarin komen roestvlekken voor. Op ca. 170 cm - mv. is de ondergrond kalkrijk.

Samengestelde legenda-eenheid

cZg35/pZg36 Associatie van beekeerdgronden met een cultuurdek en dunne beekeerdgronden

Een associatie van twee enkelvoudige bodemeenheden komt voor in het bosgedeelte ten westen van het kasteel. De bodemopbouw van beide eenheden is vrijwel gelijk. Ze verschillen van elkaar in dikte van het humeuze dek. Binnen 100 cm - mv. bevindt zich in de ondergrond een humusrijke of venige laag. Dit duidt er op dat de oorspronkelijke bovengrond tot soms wel 1 meter is opgehoogd. Plaatselijk is de humeuze bovengrond dikker dan 35 cm (cZg35). Soms is het cultuurdek verwerkt met het gehele ophoogdek (pZg36). Mede door deze ophoging (toevoeging ↑) konden beide bodemeenheden niet afzonderlijk op de kaart worden gezet.

Toevoegingen

K... zavel- of kleidek, 15 tot 40 cm dik
Bij de beekeerdgronden komt in het zuidwestelijke gedeelte van het landgoed een zaveldek voor.

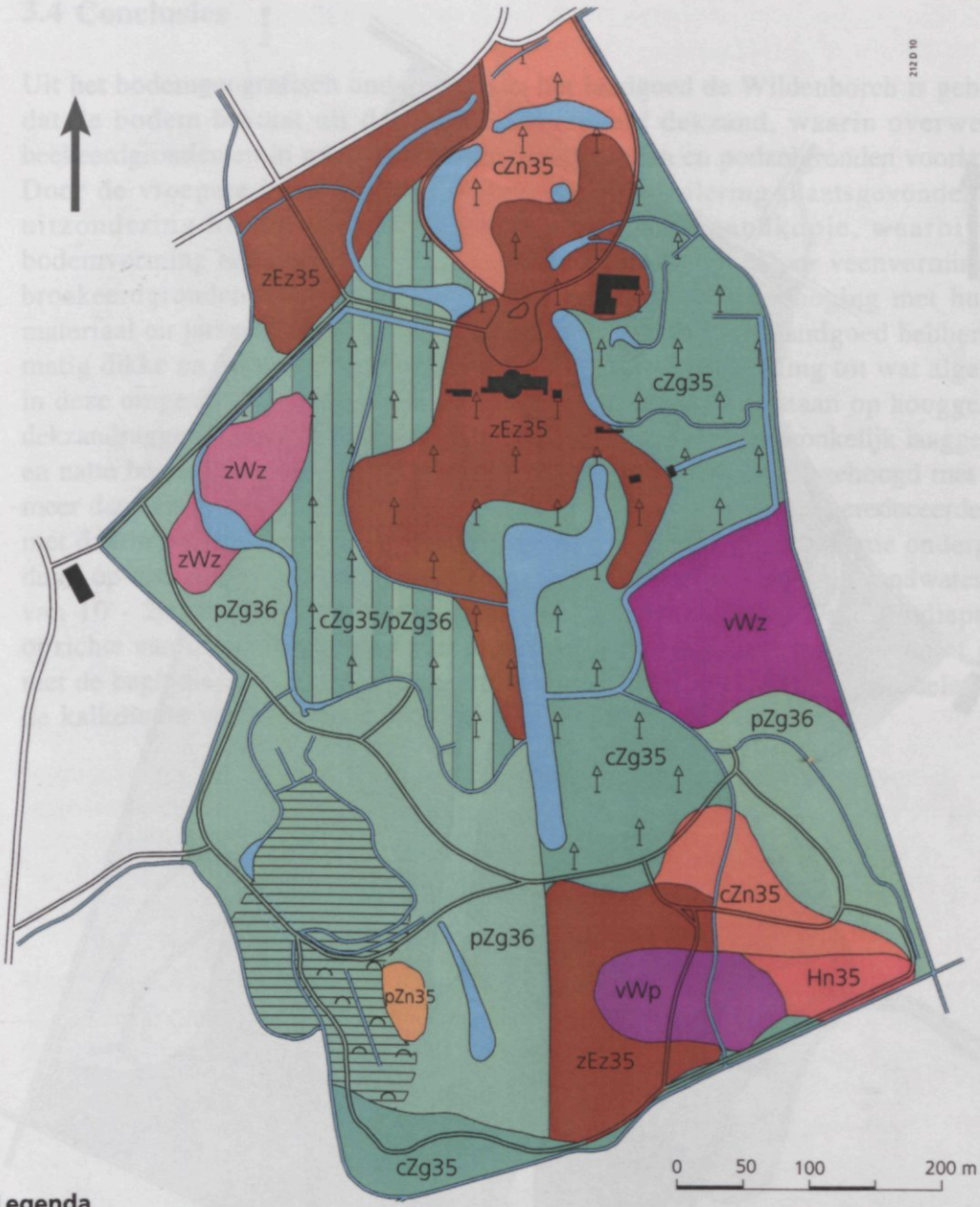
→r rabatten
Een klein gedeekte in het zuidwestelijke deel van het landgoed is op rabatten gelegd. De diep verwerkte gronden zijn tot de beekeerdgronden gerekend.

↑ opgehoogd
De meeste cultuurdekken en voor een deel het eronder liggende materiaal zijn door ophoging ontstaan. De grond is deels afkomstig uit de aangelegde grachten en waterpartijen, deels afkomstig uit de omgeving.

3.3.2 De bodemkaart en de kalkdieptekaart

De conclusies van het bodemkundig geografisch onderzoek worden gepresenteerd op een bodemkaart, schaal 1 : 3000 (figuur 7). Hierop staan de verbreiding van de bodemeenheden en de toevoegingen aangegeven.

Op een aparte kaart (figuur 8), schaal 1 : 3000, is de begindiepte van de kalkrijke ondergrond in klassen weergegeven. Er zijn drie klassen onderscheiden met een begindiepte ten opzichte van maaiveld: A: < 120 cm; B: 120 - 180 cm; C: > 180 cm.



Legenda

Zandgronden, zeer fijn zand

Podzolgronden - Veldpodzolgronden

Hn35 Veldpodzolgronden, sterk lemig

Eerdgronden

pZg36 Beekeerdgronden, sterk en zeer sterk lemig

pZn35 Gooreerdgronden, sterk lemig

cZg35 Beekeerdgronden met een matig dik cultuurdek, sterk lemig

cZn35 Gooreerdgronden met een matig dik cultuurdek, sterk lemig

Dikke eerdgronden - Enkeerdgronden

zEZ35 Enkeerdgronden, sterk lemig

Moerige gronden

vWp Moerpodzolgronden met een moerige bovengrond

vWz Broekeerdgronden met een moerige bovengrond en een zandondergrond

zWZ Broekeerdgronden met een moerige tussenlaag en een zandondergrond

Samengestelde kaarteenheid

cZg35/pZg36 Associatie van beekeerdgronden met een matig dik cultuurdek en beekeerdgronden

Toevoegingen

(k..) Zavel- of kleidek, 15 - 40 cm dik

(r) Rabatten

(↑) Opgebracht

Overige onderscheidingen

Wegen en paden

Water

Bebouwing

Figuur 6. De bodemkaart van 'De Wildenborch'

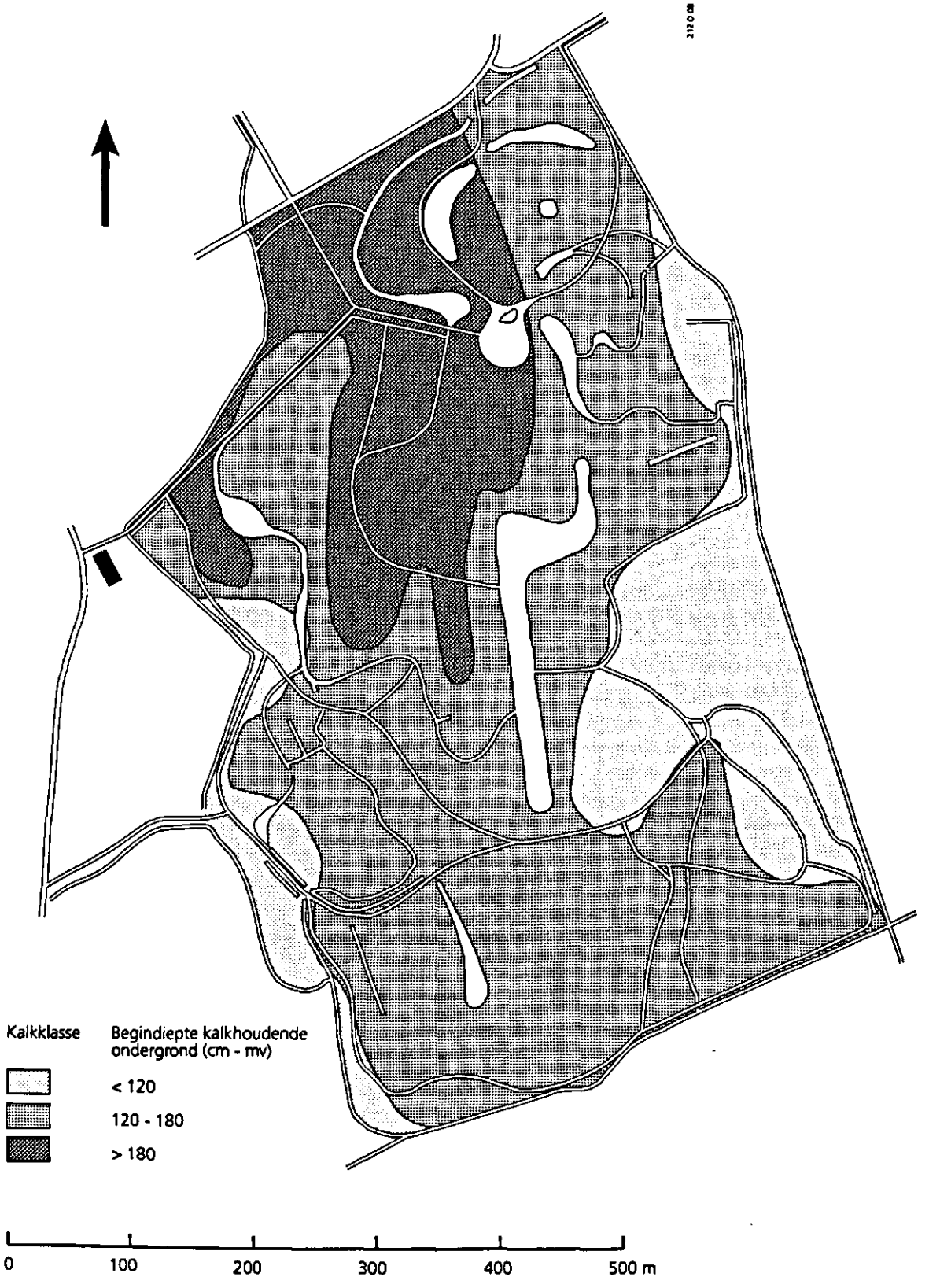


Fig. 8 De kalkdieptekaart van de Wildenborch

3.4 Conclusies

Uit het bodemgeografisch onderzoek van het landgoed de Wildenborch is gebleken dat de bodem bestaat uit dekzand en verspoeld dekzand, waarin overwegend beekeerdgronden en in mindere mate gooreerdgronden en podzolgronden voorkomen. Door de vroegere kwel heeft er vrijwel geen podzolering plaatsgevonden. Een uitzondering hierop vormt een hoger gelegen dekzandkopje, waarbij door bodemvorming een dunne inspoelingshorizont is ontstaan. Door veenvorming zijn broekeerdgronden en moerpodzolgronden ontstaan. Door ophoging met humeus materiaal en jarenlange grondbewerking in een deel van het landgoed hebben zich matig dikke en dikke cultuurdekken ontwikkeld. In tegenstelling tot wat algemeen in deze omgeving voorkomt zijn de enkeerdgronden niet ontstaan op hooggelegen dekzandruggen met daarin een podzolprofiel maar zijn de oorspronkelijk laaggelegen en natte beekeerdgronden en broekeerdgronden geleidelijk aan opgehoogd met soms meer dan een meter dik humeus dek. Het voorkomen van een grijs gereduceerde zone met daarin enige roestvlekken even boven de permanent gereduceerde ondergrond duidt op een, mogelijk incidentele, daling van de gemiddeld laagste grondwaterstand van 10 - 20 cm. In de ondergrond is het materiaal kalkrijk. De begindiepte ten opzichte van maaiveld varieert van plaats tot plaats, maar ligt even boven of gelijk met de begindiepte van de gereduceerde ondergrond. In de lager gelegen delen komt de kalkdiepte veelal binnen 100 cm - mv. voor.

4 Humusprofielonderzoek

4.1 Inleiding

De bodem, in het byzonder het humuscompartiment, vormt de belangrijkste schakel tussen het grondwater en de vegetatie. Het humuscompartiment is opgebouwd uit humushorizonten die in meer of mindere mate zijn aangetast door biologische afbraakprocessen. Het ecto-organische gedeelte van het humuscompartiment ligt op de minerale ondergrond en bevat geen of zeer weinig minerale delen. Het endo-organisch gedeelte bestaat uit organisch materiaal dat gehomogeniseerd is met de minerale ondergrond. De opeenvolging van humushorizonten wordt het humusprofiel genoemd (Vos en Stortelder, 1988).

Humusprofielonderzoek is onderzoek naar de aard en samenstelling van de strooisellaag en naar de fysische en chemische eigenschappen van het humus-compartiment. Met de resultaten van het onderzoek kan antwoord gegeven worden op vragen die betrekking hebben op bosgeschiedenis, beheersmaatregelen, waterhuis-houding, bodemverzuring en vermesting.

Bij ongunstige condities voor afbraak zal het strooisel slecht verteren en als ecto-organisch materiaal accumuleren op de minerale ondergrond. Afhankelijk van de intensiteit van het bodemleven zal het strooisel worden afgebroken en met de minerale ondergrond worden gehomogeniseerd. De opbouw van het humusprofiel geeft aldus belangrijke informatie over biologische processen in de ondergrond en de snelheid van nutriënten-kringlopen.

Een van de belangrijkste condities die de biologische activiteit in de bodem stuurt, is de basenbezetting. Een hoge basenbezetting (in geval van bv. kwel) heeft een intens bodemleven tot gevolg, waardoor vrijwel geen strooiselaccumulatie optreedt en de humus gehomogeniseerd met de minerale ondergrond voorkomt. Het voorkomen van endo-organische humusprofielen geeft aldus een belangrijke indicatie voor de invloed van kwel tot in de biologisch actieve zone. Niet ontwaterde beekeerdgronden onder invloed van kwel zijn hiervan een goed voorbeeld. Een lage basenbezetting (in geval van infiltratie van regenwater) leidt tot een slechte strooiselafbraak. Accumulatie van ruwe humus leidt tot de ontwikkeling van een ecto-organisch humusprofiel en tot stagnatie van de nutriëntenkringloop. Podzolgronden vormen hiervan een goed voorbeeld. In ontwaterde beekeerdgronden kan de ontwikkeling van een ecto-organisch humusprofiel op het oorspronkelijke endo-organische humusprofiel een belangrijke indicatie vormen voor een onvoldoende aanvulling van het adsorptiecomplex met basen vanuit het onderliggende kwelwater (Kemmers en Van Wirdum, 1988). Een dergelijke situatie duidt op een ontwikkeling naar een zuur en minder voedselrijk systeem.

Behalve de basentoestand kan ook de drainagetoestand en de rijkdom van het moedermateriaal de vorming van humusprofielen beïnvloeden (Kemmers et al., 1993). Naast deze abiotische factoren kan tenslotte ook de vegetatie zelf de ontwikkeling van het humusprofiel beïnvloeden. Van naaldbomen en beuken is het bijvoorbeeld

bekend dat zij een strooisel produceren dat slecht afbreekbaar is, waardoor ecto-organische humusprofielen tot ontwikkeling komen.

Doelstelling
In traditioneel ecohydrologisch onderzoek wordt de invloed van waterkwaliteits-eigenschappen op standplaatsfactoren bestudeerd door de basenbezetting van de bodem te bepalen en in verband te brengen met potentiaalverschillenen in grondwaterbuizen. Een dergelijke benadering is puntgericht en biedt weinig mogelijkheden voor extrapolatie naar de ruimtelijke invloedssfeer van watertypen op standplaatsfactoren. De doelstelling van het humusprofielonderzoek in de eco-hydrologische systeemanalyse is de integratie van karteerbare bodemkenmerken die in relatie staan tot hydrologische processen. Kartering van humusprofielen biedt de mogelijkheid om de geografische verbreiding van de invloed (of juist de weggevallen invloed) van kwelwater op de standplaatsfactoren 'basentoestand' en 'voedings-toestand' vast te stellen. Voorafgaand aan de kartering is een typologie nodig, op basis waarvan een legenda kan worden samengesteld.

Vraagstelling
Om de doelstelling te kunnen realiseren is onderzoek nodig dat antwoord geeft op de volgende vragen:
- Met welke morfologische kenmerken is het humusprofiel te beschrijven en te typeren ?
- Welke variabele geeft de beste indicatie voor de basentoestand van het humus-compartiment ?
- Welke basentoestand heeft het humuscompartiment en kan dit in verband worden gebracht met kwel of infiltratie ?
- Bestaat er een verband tussen de basentoestand en morfologische kenmerken van het humusprofiel ?
- Welke variabele geeft de beste indicatie voor de trofiegraad van het humus-compartiment ?
- Bestaat er een verband tussen de basentoestand van het humusprofiel en de trofiegraad ?

Voor het onderzoek zijn op een aantal plaatsen profielbeschrijvingen gemaakt en zijn op 11 locaties in totaal 25 grondmonsters genomen uit de verschillende horizonten van het humusprofiel. De resultaten van het onderzoek en de conclusies worden beschreven in de paragrafen 4.2 t/m 4.5.

4.2 Beschrijving van het humusprofiel

Het humusprofiel kan worden onderverdeeld in een ecto-organisch deel en een endo-organisch deel. Het ecto-organisch deel, de O-laag, bestaat uit de strooisellaag, waarbij nog vrijwel geen menging heeft plaatsgevonden met de onderliggende minerale bodem. Het endo-organische deel, de A-horizont, bestaat uit het minerale deel van de bodem, waarbij door intensieve menging met de bovenliggende humuslaag een humeuze bovengrond is ontstaan.

Binnen het ecto-organische deel kunnen een L-, een F- en een H-horizont worden onderscheiden. De L-(=litter)horizont bestaat uit relatief verse dode plantedelen. De F-(fermentatie)horizont bestaat uit meer of minder afgebroken strooisel, waarbij echter macroscopisch herkenbare resten van planteweefsels domineren. De H-horizont bestaat uit fijn verdeelde organische stof, waarin ten hoogste nog macroscopisch herkenbare resten van wortels, hout en schors kunnen voorkomen.

De dikte van het humusprofiel in het algemeen, en van de afzonderlijke horizonten in het ecto-organische deel in het bijzonder en het al of niet voorkomen ervan is van veel factoren afhankelijk. Hierbij spelen eerder genoemde processen, maar ook de leeftijd van de bosopstand, aard van het moedermateriaal, samenstelling van het strooisel, en antropogene invloeden als grondbewerking en bosbeheer een grote rol.

In 1981 heeft Klinka (Klinka et al., 1981) een classificatiesysteem ontwikkeld om de verschillende humusvormen te rangschikken. Bij deze indeling wordt op het hoogste niveau (Orden) onderscheid gemaakt tussen morhumus, moderhumus en mullhumus. Het al dan niet voorkomen van de te onderscheiden horizonten, de dikte ervan en de aan- of afwezigheid van de strooiselafbrekende flora en fauna (schimmels, duizendpoten, wormen enz.) zorgen voor een verdere onderverdeling.

4.3 Humusprofielen in het landgoed de Wildenborch

Per onderscheiden bodemeenheid van de bodemkaart (figuur 7) is een beschrijving gemaakt van het humusprofiel. Op basis van de dikte van de strooisellaag (figuur 9) en het al of niet voorkomen van schimmels zijn twee humusvormen onderscheiden nl. mull en moder.

Mull-humusprofielen hebben een dunne (< 2 cm) ecto-organische horizont bestaande uit een L- en F-horizont. Hierin ontbreken schimmels. Menging met de endo-organische horizont gebeurd door regenwormen. De pH-waarden zijn hoog, de C/N-ratio is laag en de Ah-horizont heeft een blokkige structuur. De mull-humusprofielen komen voor bij een deel van de beekeerdgronden.

Kenmerkend voor een moder-humusprofiel is de dominante aanwezigheid van afbrekende bodemfauna. Schimmels kunnen aanwezig zijn. De ecto-organische horizont bestaat uit een L-, een Fa- of Faq-horizont. Een H-horizont is meestal aanwezig. De horizonten hebben een losse, niet samengepakte structuur. De minerale endo-organische horizont (Ah-horizont) is gemengd met fijne deeltjes organische stof. De moder humusprofielen komen voor bij alle onderscheiden bodemeenheden inclusief een groot deel van de beekeerdgronden. De Orden Mull en Moder worden in dit gebied onderverdeeld in de volgende groep of groepen (naar Klinka et al., 1981):

Orde	Groep
Mull	- Rhizomull
Moder	- Mullmoder
	- Hydromoder
	- Xeromoder

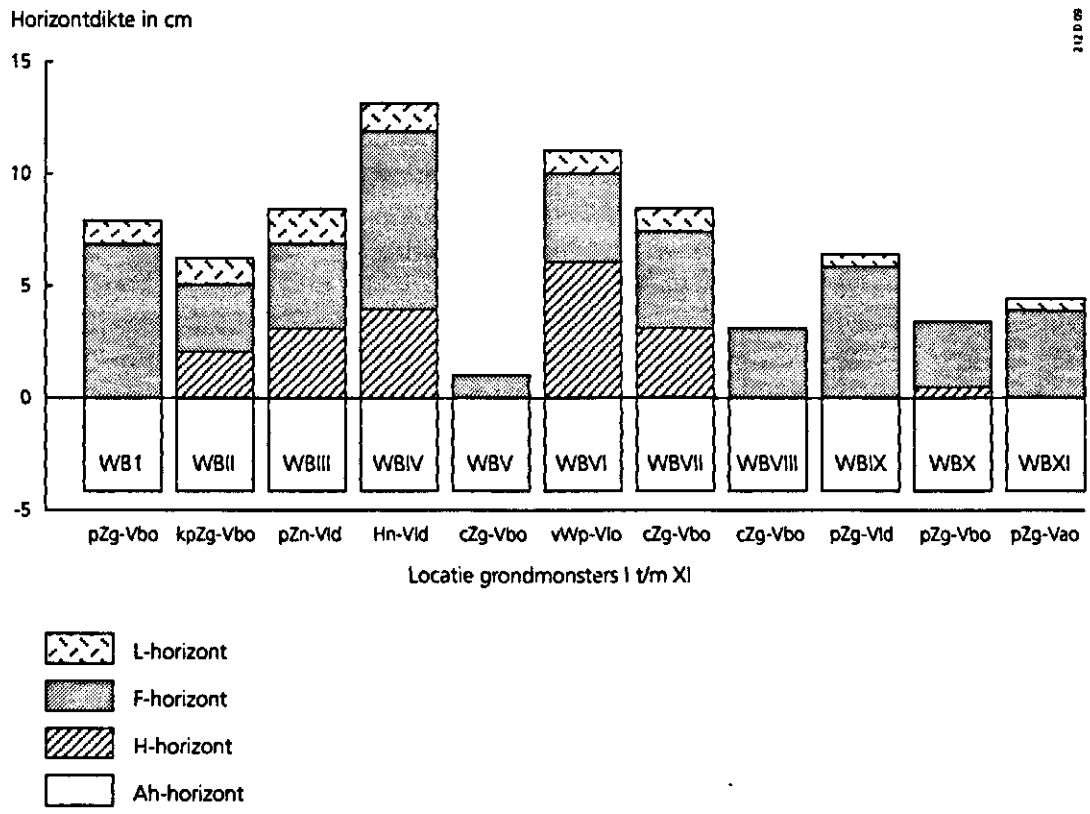


Fig. 9 Horizontdiktes bij de locaties voor het humusprofielonderzoek. De locaties staan in figuur 10

Mull - Rhizomull

Rhizomull humusprofielen komen voor binnen de dunne en matig dikke beekeerdgronden. De dikte van de ecto-organische laag bedraagt maximaal 2 cm. Daarin komt een F-horizont voor, die bestaat uit een losse verzameling van bladdelen, takjes en zaden. De losse minerale bovengrond (endo-organische horizont) heeft een granulaire structuur door een actief bodemleven. De minerale bovengrond is intensief doorworteld met zeer veel fijne wortels. De geanalyseerde monsters (WBV, WBVIII, WBX en WBXI) hebben hoge waarden voor pH en een lage C/N ratio (zie 4.4). De groep Rhizomull kan representatief geacht worden voor de rijke beekeerdgronden.

Moder - Mullmoder, Hydromoder, Xeromoder

Moderhumusprofielen komen voor binnen de dunne en matig dikke beekeerdgronden, de gooreerdgronden, de veldpodzolgronden en de moerpodzolgronden. Op basis van de dikte van de horizonten kunnen ze worden onderverdeeld in Mullmoders, Hydromoders en Xeromoders.

Mullmoders kenmerken zich doordat de endo-organische horizont dikker is dan de ecto-organische horizont (Klinka, et al., 1981). Bij de enkeerdgronden, de beekeerdgronden en de gooreerdgronden met een matig dik cultuurdek is de endo-organische horizont dikker dan de ecto-organische horizont. Toch voldoet de opbouw van de endo-organische horizont niet volledig aan die van de Mullmoder. Het cultuurdek is niet overal ontstaan via intensieve menging door bodemfauna, maar

door ophoging. De 4 - 7.5 cm dikke F-horizont is opgesplitst in twee sub-horizonten met een verschil in structuur. Deze gaat over van een losse enkelvoudige structuur naar een losse gestapelde structuur. Bij dikke Fa-horizonten komt een compacte gestapelde structuur voor op de overgang naar de H-horizont. De beworteling hierin is gering. De dikte en de gestapelde structuur van de F-horizont kan duiden op een afname in de afbraaksnelheid door minder gunstige afbraakcondities. De H-horizont is vrij dun (<2.5 cm) en is deels gemengd met de Ah-horizont. Dit duidt op een zeker tot voor kort vrij actief bodemleven. Er komen matig veel tot zeer veel fijne en minder fijne wortels in voor. Onder Amerikaanse eik en beuk ontbreken de wortels. Het geanalyseerde monster (WBVII) heeft een gunstige pH en een C/N-verhouding die vergelijkbaar is met die van de Rhizomulls.

Hydromoders kenmerken zich door een vrij dikke ecto-organische horizont, waarin L-, Fa- en H-horizonten duidelijk aanwezig zijn. De totale dikte is groter dan die van de endo-organische horizont. De humusprofielen zijn ontstaan in een periode met fluctuerend grondwater met een hoogste grondwaterstand tussen 30 en 50 cm - mv. (Klinka,1981). Ze zijn kenmerkend voor de wat rijkere, laaggelegen vochtige dekzanden met daarin podzolgronden en gooreerdgronden. Toch behoort het grootste deel van de onderzochte humusprofielen tot deze groep. Ze zijn aangetroffen in vrijwel alle bodemtypen.
De F-horizont varieert in dikte van 2,5-8,0 cm. Bodemfauna is dominant aanwezig (Fa). Er komen veel droppings in voor, maar er zijn ook schimmels aangetroffen (Faq). De structuur van de F-horizont verloopt van een losse structuur via een losse stapeling naar een compacte stapeling. Dit duidt op minder gunstige afbraakcondities waardoor een ophoping van strooisel plaatsvindt. De wortelactiviteit komt vooral voor in het onderste deel van de F-horizont. De dikte van de H-horizont varieert van 0,5-3,5 cm. De overgang met de minerale ondergrond is niet overal even scherp. Er komen weinig tot matig veel wortels in voor. Een Ah-horizont is altijd aanwezig en bestaat enerzijds uit sterk lemig zand met een enkelkorrelstructuur anderzijds uit een lutumhoudende bovengrond met een granulaire structuur. De geanalyseerde monsters (WBII; WBIII) in resp. beekeerdgronden met een kleidek en gooreerdgronden hebben een lage pH en een C/N ratio die hoger is dan bij de mulls. Monsters uit de veldpodzolgronden en de moerpodzolgronden (WBIV; WBVI) hebben lage pH-waarden en hoge C/N-waarden (zie 4.4).
Xeromoders kenmerken zich door de afwezigheid van een H-horizont. Door de 5-6 cm dikke Fa-horizont met een gelaagde niet compacte structuur kunnen ze niet tot de mulls gerekend worden. Ze komen voor bij een aantal beekeerdgronden. Geanalyseerde monsters hieruit (WBI en WBIX) hebben een lage pH en een gunstie C/N ratio. Gezien de relatief lage ligging van het gebied is het voorkomen van deze humusprofielen opvallend. Mogelijk zijn de afbraakcondities minder gunstig geworden door de lage pH en een daling van het grondwater.

4.4 Chemische eigenschappen van humusprofielen

4.4.1 Werkwijze

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden is naast beschrijvend onderzoek chemisch onderzoek verricht aan de humusprofielen. Hiertoe werden humusprofielen bemonsterd en geanalyseerd op chemische variabelen.

4.4.1.1 Bemonstering

Locatiekeuze
Lokaties voor de bemonstering van het humusprofiel zijn geselecteerd op basis van verschillen in bodemkundige en hydrologische omstandigheden en in opstandskenmerken. Dit resulteerde in 11 geselecteerde lokaties met onderling verschillende kenmerken (zie figuur 10).

Strategie
Van humus is het bekend dat de ruimtelijke korte afstand variabiliteit groot is (Sevink et al., 1993). Om deze variabiliteit enigszins te ondervangen zijn op een lokatie steeds 10 monsters gestoken over een oppervlakte van ca. 100 m^2 met onderlingen afstand van ca. 3 meter. De monsters zijn vervolgens per onderscheiden horizont samengevoegd. Als ecto-organische horizonten werden L/F-horizont en H-horizont onderscheiden en als endo-organische horizont de Ah-horizont. Van elke horizont werd de laagdikte genoteerd. Van de Ah-horizont werd alleen de bovenste 10 cm verzameld.

4.4.1.2. Analysemethoden

De monsters zijn volgens standaardmethoden geanalyseerd op de volgende variabelen:
- Organische stof (gloeiverlies bij 305 °C)
- N-totaal (NH_3 bepaling inKjeldahldestruaat)
- P-totaal (met molybdeenblauw in Kjeldahldestruaat)
- pH-water
- $CEC_{8.1}$ (volgens Bascomb in $BaCl_2$/TEA-extract; AAS-bepaling)
- Ca-uitwisselbaar (AAS-bepaling in CEC extract)
- Mg-uitwisselbaar (idem)
- Na-uitwisselbaar (idem)
- K-uitwisselbaar (idem)
- H-uitwisselbaar (idem)

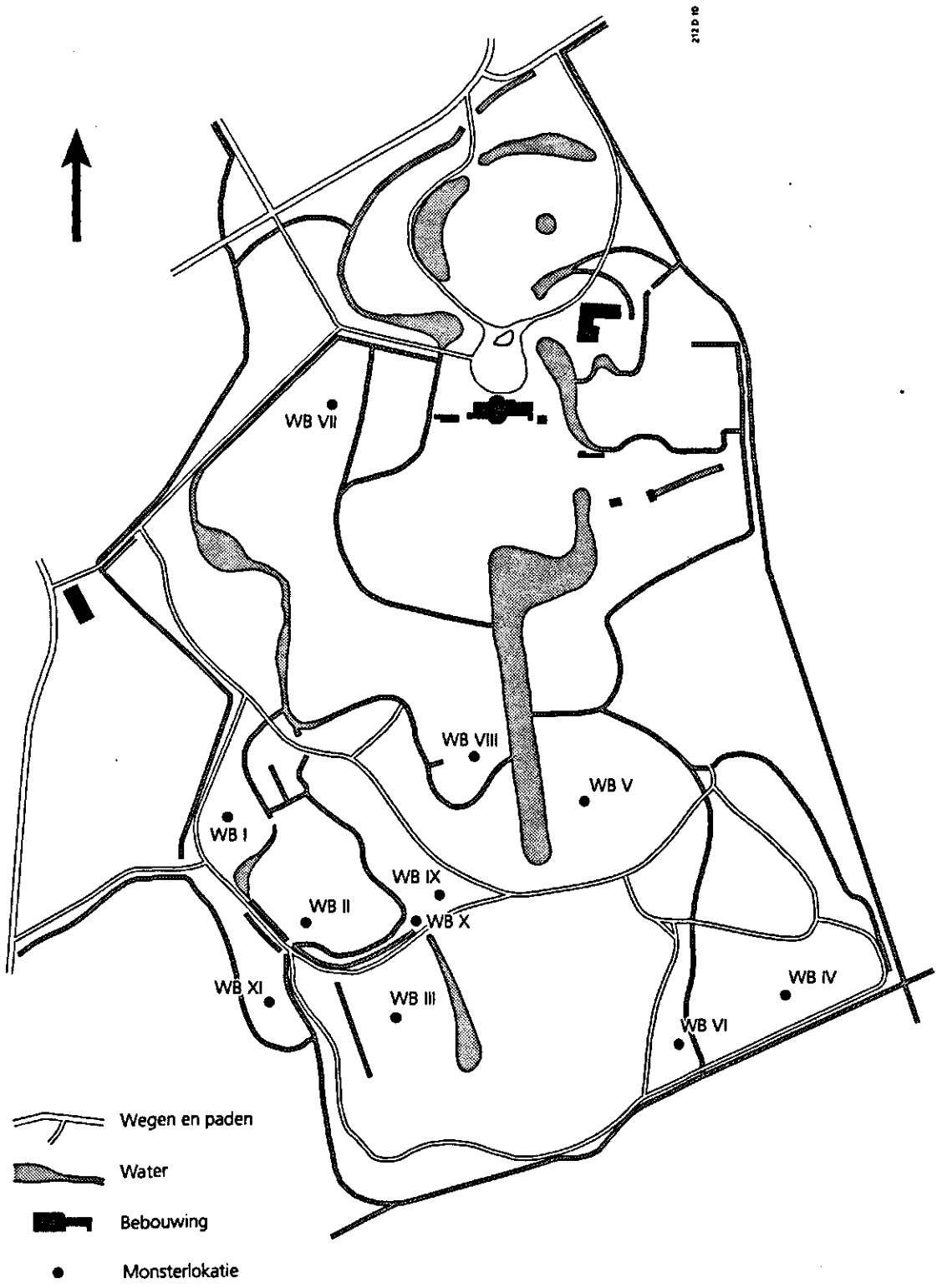


Fig. 10 Overzicht van locaties waar monsters zijn verzameld voor humusprofielonderzoek

Met de analyseresultaten zijn vervolgens een aantal afgeleide variabelen berekend. Een aantal van deze berekeningen zijn gebaseerd op regressievergelijkingen tussen variabelen afkomstig van andere databestanden (Kemmers,1990; Kemmers et al.,1992)
- C-elementair (0,53 x % org. stof)
- P-organisch (0,51xP-tot + 0,0005 x % org.stof - 0,0105)
- C/N-ratio (C-elem./N-totaal)
- C/P-ratio (C-elem./P-organisch)
- Ca-bezetting (Ca-uitwisselbaar/$CEC_{8.1}$)
- H/Ca-ratio (H-uitw./Ca-uitw.)

4.4.2 Resultaten

De resultaten van de chemische analyses en de afgeleide variabelen zijn opgenomen in aanhangsel II.

4.4.2.1 De basentoestand

Zuurgraad en calciumbezetting
De bodemzuurgraad wordt afgelezen aan de pH. De pH is niet-lineair gecorreleerd met de calciumbezetting van het adsorptiecomplex. Figuur 11 geeft het verband weer tussen deze variabelen die bepaald zijn in monsters van de wortelzone uit een groot aantal natuurterreinen.

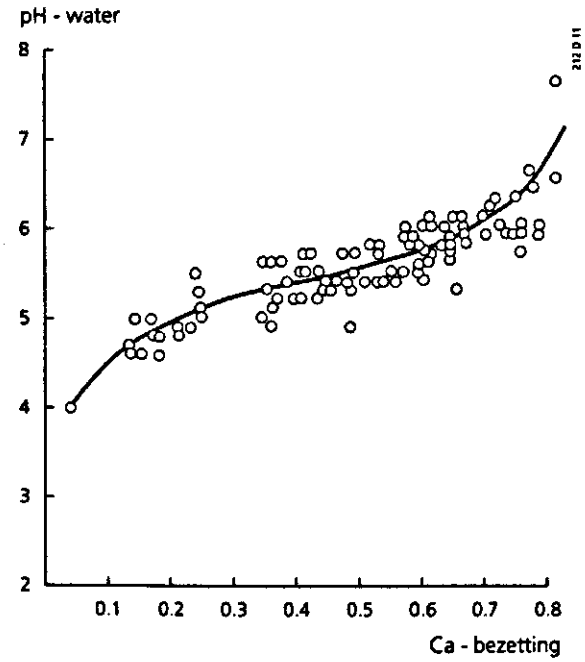


Fig. 11 Het verband tussen zuurgraad en calciumbezetting van het adsorptiecomplex in verschillende natuurterreinen met korte vegetaties

De figuur laat zien dat de pH in het traject met een calciumbezetting van 60 tot 30% gebufferd wordt bij een waarde van pH=5,5 via kationenomwisseling. Als aan de ondergrens de kationenbuffer verbruikt is, daalt de pH sterk bij een verdere vermindering van de calciumbezetting. Aan de bovengrens is de overgang naar het kalkbuffer systeem rond pH=8 waar te nemen.

In figuur 12 zijn dezelfde variabelen van de monsters uit de Wildenborch weergegeven. Uit deze figuur kan worden geconcludeerd dat de calciumbezetting in het gehele landgoed laag is. Op enkele plaatsen is de pH nog relatief hoog. Op deze plaatsen lijkt de buffer via kationenomwisseling vrijwel te zijn verbruikt. De meeste locaties verkeren in een situatie waar de pH gevoelig is voor een verdere daling naar extreem lage waarden. Deze situatie doet zich niet alleen voor in de ecto-organische maar ook in de endo-organische (minerale) horizonten. De buffercapaciteit is het grootst op plaatsen waar relatief veel organische stof in de minerale ondergrond voorkomt. Dit is het geval bij de gronden waarop een cultuurdek (cZg) voorkomt.

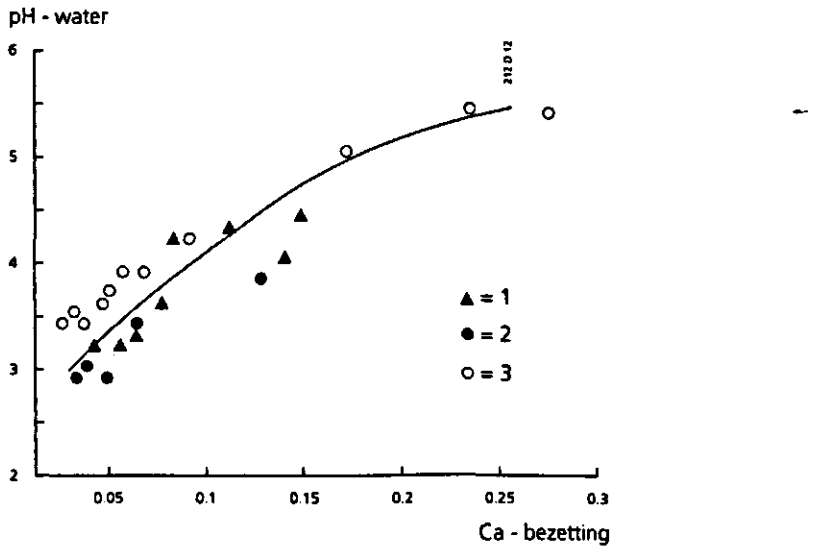


***Fig. 12** Het verband tussen de zuurgraad en de calciumbezetting van het adsorptiecomplex in de Wildenborch. 1: L/F-horizont; 2: H-horizont; 3: Ah-horizont*

De H/Ca-ratio

Bij kationenomwisseling treedt een antagonisme op tussen H-ionen en basische kationen. Naarmate de calciumbezetting lager is zal het aandeel H-ionen op het adsorptiecomplex toenemen. Deze relatie is geïllustreerd in figuur 13, die is gebaseerd op de analyseresultaten van de monsters uit de Wildenborch. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat voor de ecto-organische en endo-organische horizont specifieke relaties bestaan.

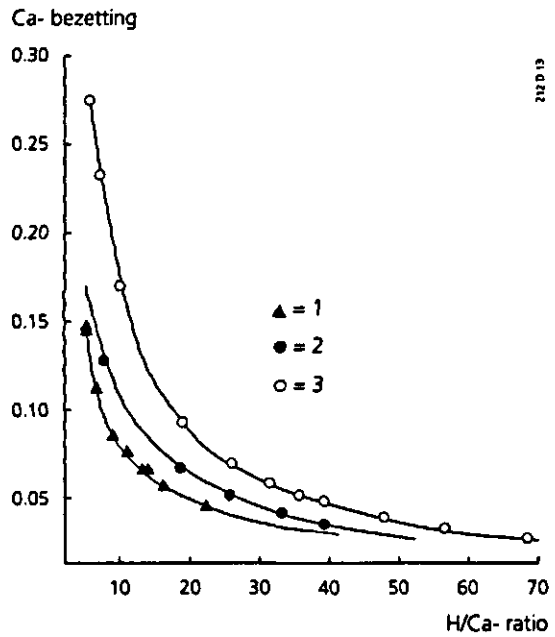


Fig. 13 Het verband tussen de calciumbezetting op het adsorptiecomplex en de H/Ca-ratio voor monsters afkomstig van de Wildenborch. 1: L/F-horizont; 2: H-horizont; 3: Ah-horizont

In figuur 14 is de relatie tussen de H/Ca-ratio en de pH-water weergegeven. Ook uit deze figuur kan worden afgeleid dat de mate waarin het Ca-ion op het adsorptiecomplex aanwezig is, in hoge mate bepalend is voor de pH. Ook hier geldt dat er voor ecto-organische en endo-organische horizonten specifieke relaties bestaan. Zo blijkt dat bij eenzelfde waarde voor de pH in de ecto-organische horizonten aanzienlijk meer Ca-ionen zijn geadsorbeerd, wat tot uiting komt in een lage waarde voor de H/Ca-ratio.

Uit figuur 14 blijkt tevens dat de monsters gerangschikt zijn volgens een bodemkundige sequentie die overeenkomt met hun hydrologische positie in het landschap. Moerpodzol- en veldpodzolgronden hebben een hoge H/Ca-ratio. Via gooreerdgronden en beekeerdgronden neemt de H/Ca-ratio verder af, hetgeen wijst op een toenemende aanvoer van Ca-ionen via kwel. Opvallend is dat H/Ca-ratio in de beekeerdgronden zich over een groot traject uitstrekt. Het monsterpunt IX is sterk verzuurd en nadert de basentoestand die optreedt in podzolgronden. Daarnaast hebben de beekeerdgronden met een cultuurdek (V, VII, VIII) relatief de hoogste basenverzadiging.

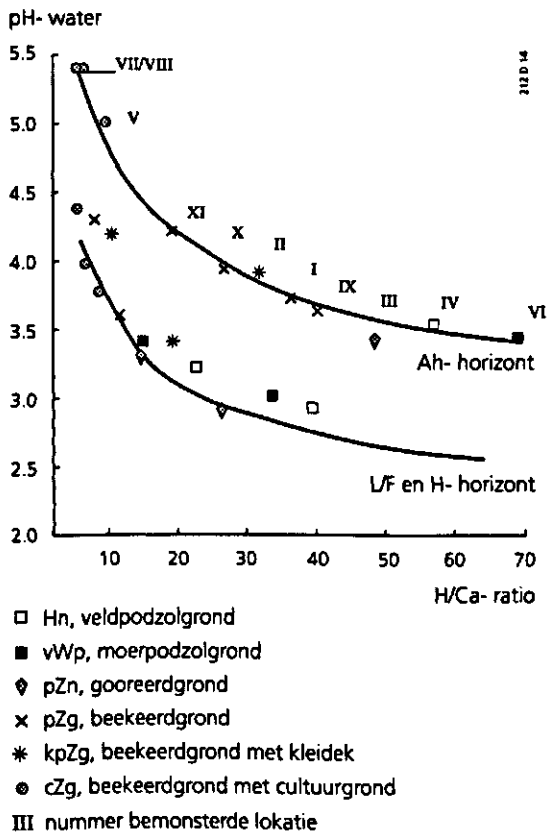


*Fig. 14 **Het verband tussen de H/Ca-ratio en de pH voor monsters afkomstig van de Wildenborch. De lettercode geeft het bodemtype weer ter plaatse van het monster; Hn: veldpodzolgrond; vWp: moerpodzolgrond; pZn: gooreerdgrond; (k)pZg: beekeerdgrond (met kleidek); cZg: beekeerdgrond met cultuurdek. Romeinse cijfers verwijzen naar de bemonsterde lokatie.***

Strooisellaagdikte

Algemeen wordt verondersteld dat de basentoestand van invloed is op de biologische activiteit in de bodem (Vos en Stortelder, 1988). Naarmate de basenverzadiging hoger is, zal de omzetting van strooisel volledíger plaatsvinden. In de Wildenborch is onderzocht of er een verband bestaat tussen de dikte van de ecto-organische strooisellaag en de basentoestand. Omdat tevens de afbreekbaarheid van het strooisel bepalend kan zijn voor de dikte van strooisellagen, is rekening gehouden met de dominante boomsoort in de onderzochte opstand.
Uit een regressieanalyse blijkt dat de H/Ca-ratio een significante bijdrage levert aan de voorspelling van de dikte van het ecto-organisch strooisel. Ook de boomsoort levert een nog juist significante bijdrage. Deze twee variabelen blijken voor ruim 83% bij te dragen aan de verklaring van de dikte van de strooisellaag. Het verband kan voor opstandstypen met eik, beuk of naaldhout als dominante boomsoort als volgt worden geformuleerd:

Dikte = 0,14 x H/Ca-ratio + 1,85

Voor opstandstypen met zachthoutsoorten als dominant boomtype (els, es, populier) geldt het volgende verband:

Dikte = 0,14 x H/Ca-ratio - 0,67

In figuur 15 is het verband grafisch weergegeven.

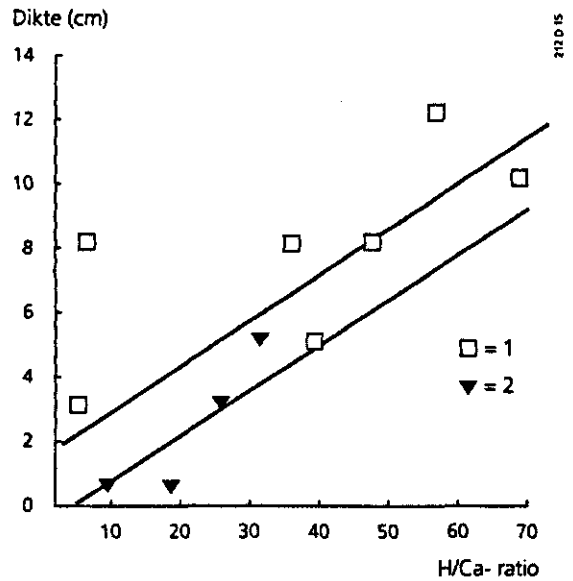


Fig. 15 Het verband tussen de dikte van de ecto-organische horizont en de H/Ca-ratio. De cijfercode verwijst naar de dominante boomsoort; 1: hardhout en naaldbomen; 2: zachthout

Er kan worden geconcludeerd dat de ecto-organische laag toeneemt naarmate de invloed van het calcium-ion op het adsorptiecomplex geringer wordt. Onder hardhoutsoorten en naaldbomen is de strooisellaag dikker dan onder zachthout-boomsoorten. Deze conclusie impliceert dat de strooiseldikte een morfologisch kenmerk is, dat informatie in zich draagt over de basentoestand van de bodem. Een uitzondering hierop vormt een monsterpunt met een lage H/Ca-ratio en een dikke strooisellaag van 8 cm. Op deze lokatie is beuk de dominante boomsoort.

4.4.2.2 De trofiegraad

Stikstof en fosfor zijn belangrijke voedingsstoffen voor plantengroei. De bron van deze voedingsstoffen is de organische stof van de bodem. De rijkdom van de organische stof aan stikstof en fosfor wordt uitgedrukt in de C/N- en de C/P-ratio. Naarmate de C/P- resp. C/N-ratio hoger is komt bij mineralisatie minder N en P beschikbaar. De primaire bron van organische stof is het strooisel dat via bladval de bodem bereikt. Vers gevallen strooisel bestaat over het algemeen uit gemakkelijk afbreekbare componenten. Na bladval is het strooisel onderworpen aan een ingewikkeld proces van decompositie, humificatie en mineralisatie. Tijdens dit proces neemt de C/N- en C/P-ratio af. Dit wordt geïllustreerd in figuur 16. Het recent gevallen strooisel in de L/F-horizont is nog nauwelijks afgebroken en heeft hogere

ratio's dan het sterk omgezette materiaal in de Ah-horizont. De H-horizont lijkt zich nauwelijks te onderscheiden van de L/F-horizont.

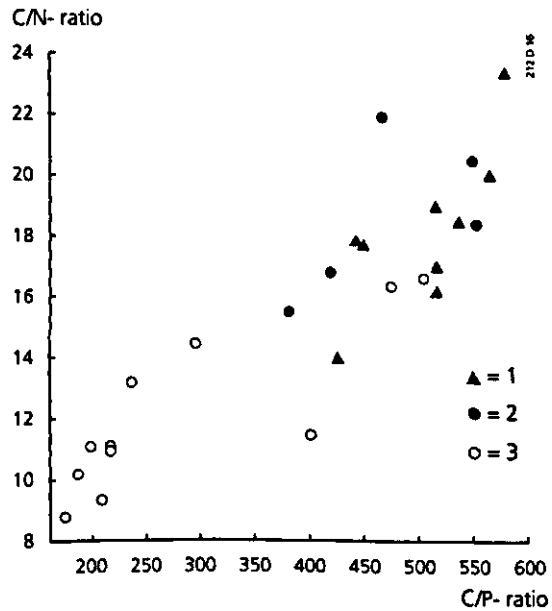


***Fig. 16** Het verband tussen de C/N- en C/P-ratio in de verschillende humushorizonten. De cijfercode heeft betrekking op de humushorizont waaruit het monster afkomstig is; 1: L/F-horizont; 2: H-horizont; 3: Ah-horizont*

De verrijking van de organische stof met stikstof en fosfor tijdens omzettingsprocessen lijkt in strijd met het idee van afbraak. Tijdens het humificatieproces wordt echter een gedeelte van de stikstof en fosfor, dat door mineralisatie beschikbaar is gekomen, door micro-organismen weer opgenomen en ingebouwd in complexe organische verbindingen. De overige gemineraliseerde N- en P-verbindingen blijven beschikbaar voor plantengroei of zullen uitspoelen. Omdat C, dat bij mineralisatie is vrijgekomen, als CO_2 uit het systeem verdwijnt, terwijl N en P worden geïmmobiliseerd, stijgt de C/N- en C/P-ratio van de organische stof tijdens het omzettingsproces. In absolute zin neemt het percentage C, N en P echter af tijdens het omzettingsproces.

Het gehumificeerde materiaal dat in de H- en Ah-horizont achterblijft is sterk gemodificeerd en planteresten zijn niet langer macroscopisch herkenbaar. Dit materiaal wordt stabiele humus genoemd en is veel moeilijker mineraliseerbaar dan het oorspronkelijke uitgangsmateriaal in de L/F-horizont.

Stikstof en basentoestand

In de vorige paragraaf werd een verband vastgesteld tussen de basentoestand en de dikte van de ecto-organische laag van het humusprofiel. Dit suggereert dat omzettingsprocesen onder invloed van basenarme omstandigheden slechter verlopen dan onder basenrijke omstandigheden. Als dit het geval is, moet dit tevens tot uiting komen in de C/N-ratio. Er zijn twee hypothesen geformuleerd om dit te toetsen:

1. Onder basenarme omstandigheden is de C/N-ratio hoger dan onder basenrijke omstandigheden.

2. De C/N-ratio neemt toe naarmate het strooisel verder is omgezet bij overigens gelijke basentoestand.

Via een regressieanalyse werd getoetst of de H/Ca-ratio van invloed is op de C/N-ratio en of in dit opzicht een onderscheidt bestaat tussen de verschillende humushorizonten. De H/Ca-ratio blijkt een zeer significante ($P<0.001$) bijdrage te leveren aan de voorspelling van de C/N-ratio. Bovendien blijkt de Ah-horizont significant lagere waarden voor de C/N te hebben ($P<0.001$). Er blijkt geen onderscheidt te bestaan tussen de C/N-ratio van de L/F- en H-horizont.
De verklaarde variantie in de C/N-verhouding door beide variabelen bedraagt ca. 78% ($r^2=78,2$). Ook de dominante boomsoort blijkt significant bij te dragen aan de verklaring van de C/N-ratio. In dit laatste geval loopt de verklaarde variantie op tot ruim 84% ($r^2=84.6$).

Het verband kan als volgt worden weergegeven:
L/F- en H-horizont: C/N = 0,12 x H/Ca-ratio + 16,6
Ah-horizont : C/N = 0,12 x H/Ca-ratio + 8,1

Het verband is grafisch weergegeven in figuur 17.

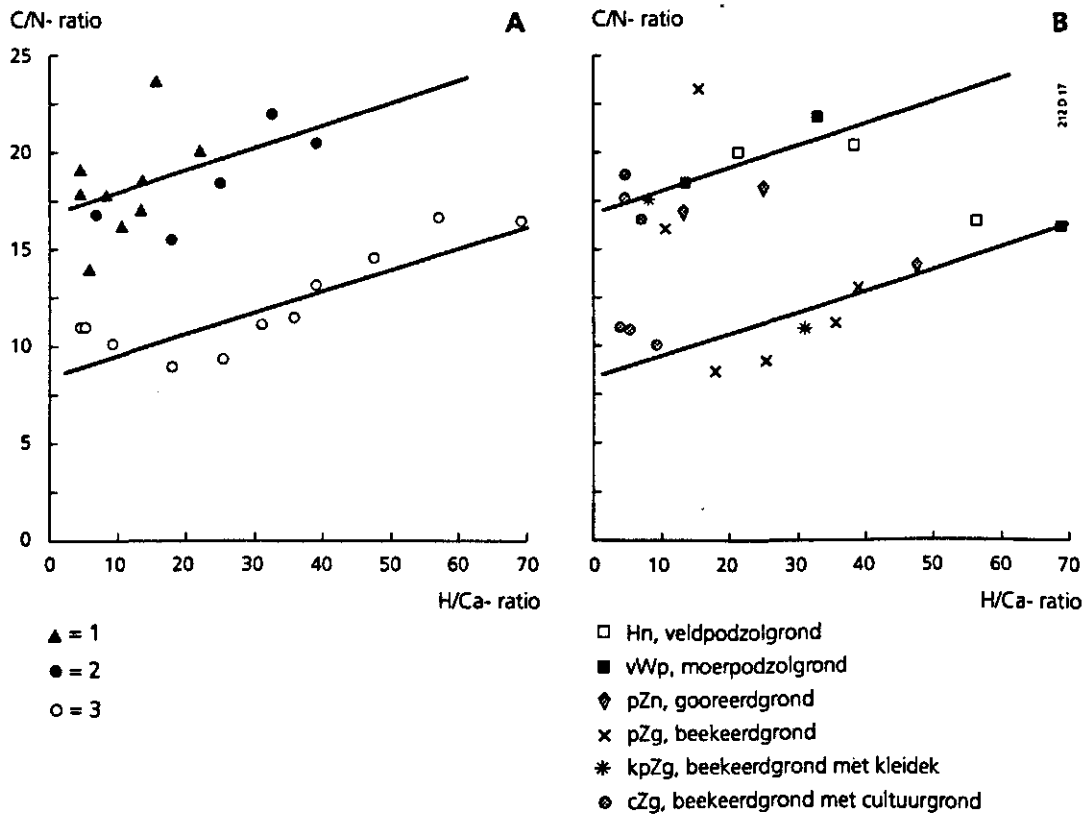


Fig. 17 Het verband tussen de C/N-ratio en de H/Ca-ratio. a) De cijfercode geeft de humushorizont aan waaruit het monster afkomstig is (zie figuur 16) b) De lettercode geeft het bodemtype aan waarop het bemonsterde humusprofiel zich heeft ontwikkeld

In figuur 17[a] zijn de monsterpunten weergegeven met een cijfercode voor de verschillende horizonten. In figuur 17[b] zijn de monsterpunten weergegeven met een lettercode voor de verschillende bodemtypen,waarop de humusprofielen zich ontwikkeld hebben. Uit figuur 17[a] komt duidelijk het verschil tussen de ecto-organische en endo-organische horizonten naar voren. Uit de figuur 17[b] blijkt dat ook de C/N-ratio van de monsters uit de Ah-horizont gerangschikt zijn volgens een bodemkundige sequentie die overeenkomt met de hydrologische positie van bodemtypen in het landschap. De rijkdom van organische stof aan stikstof neemt af naarmate de invloed van het Ca-ion op het adsorptiecomplex geringer is.

Opvallend is de relatief lage waarde voor de C/N-ratio in de ecto-organische horizonten. Mogelijk dat dit samenhangt met de hoge N-depositie en de immobilisatie van deze N-input in de organische stof.

Fosfor en basentoestand
Voor het onderzoeken van de relatie tussen fosfor en de basentoestand werden vergelijkbare hypothesen geformuleerd als bij het onderzoek met betrekking tot stikstof en de basentoestand.

Uit de regressieanalyse blijkt dat de H/Ca-ratio zeer significant ($P<0.001$) bijdraagt aan de verklaring van de C/P-ratio. De L/F- en Ah-horizont leveren een zeer significante ($P<0.001$), terwijl de H-horizont een significante ($P<0.01$) bijdrage levert. De verklaarde variantie bedraagt ruim 82 % ($r^2=82.4$).

Het verband kan als volgt worden weergegeven:
L/F-horizont: C/P = 4,8 x H/Ca-ratio + 447.4
H-horizont : C/P = 4.8 x H/Ca-ratio + 351.8
Ah-horizont : C/P = 4.8 x H/Ca-ratio + 129.0

Grafisch is het verband weergegeven in figuur 18.

In figuur 18[a] zijn de monsterpunten weergegeven met een nummercode voor de verschillende horizonten. In figuur 18[b] zijn de monsterpunten weergegeven met een lettercode voor de verschillende bodemtypen,waarop de humusprofielen zich ontwikkeld hebben. Uit figuur 18[a] komt ook voor de P-huishouding duidelijk het verschil tussen de ecto-organische en endo-organische horizonten naar voren. Uit de figuur 18[b] blijkt dat ook de C/P-ratio van de monsters uit de Ah-horizont gerangschikt zijn volgens de bodemkundige sequentie die overeenkomt met de hydrologische positie van bodemtypen in het landschap. De rijkdom van organische stof aan fosfor neemt af naarmate de invloed van het Ca-ion op het adsorptiecomplex geringer is.

Humusprofiel en nutriëntentoestand
In figuur 19 is de relatie tussen nutriëntenratio's en H/Ca ratio schematisch weergegeven op basis van de resultaten van het fosforonderzoek. Op standplaatsen met een H/Ca-ratio < 30 lijken geen verschillen op te treden in C/N- en C/P-ratio's van de Ah-horizont. Boven deze grenswaarde lijken zowel C/N- als C/P-ratio's sterk

toe te nemen (zie ook figuur 17 en 18). In dezelfde richting neemt de dikte van het ecto-organische humusprofiel toe (zie figuur 15).

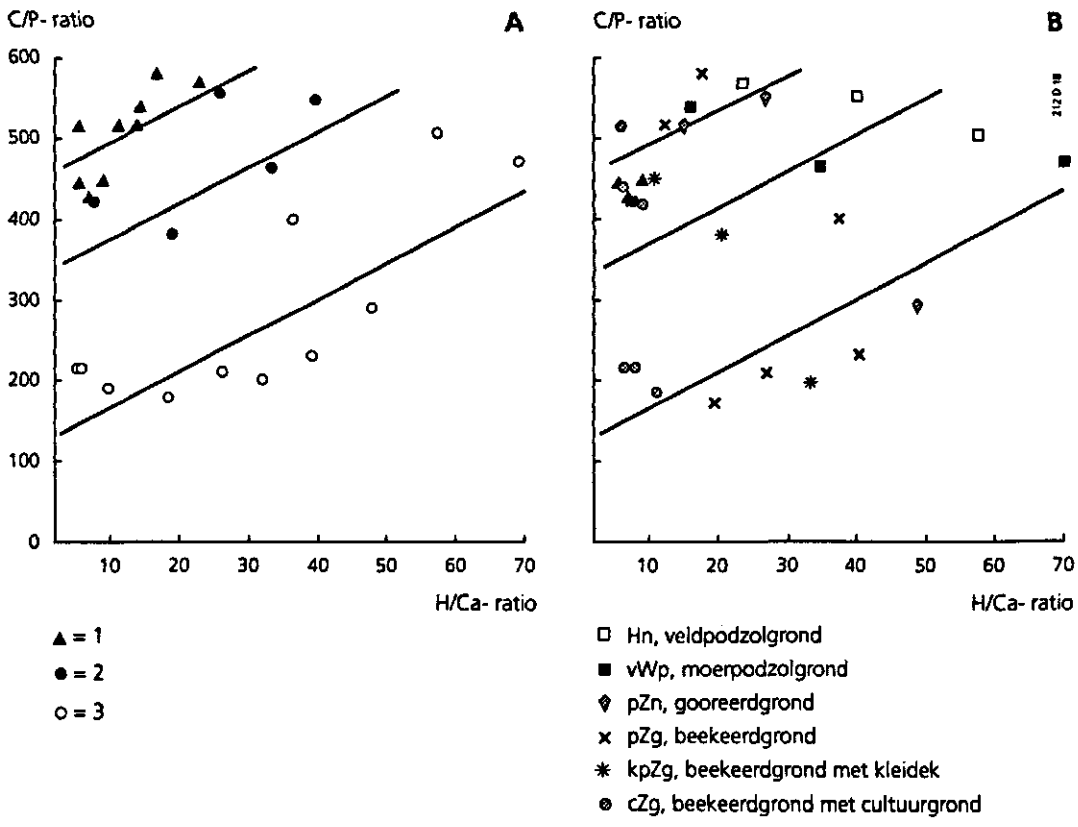


Fig. 18 Het verband tussen de C/P-ratio en de H/Ca-ratio. a) De cijfercode geeft de humushorizont aan waaruit het monster afkomstig is (zie figuur 16) b) De lettercode geeft het bodemtype aan waarop het bemonsterde humusprofiel zich heeft ontwikkeld

Opvallend is dat de range in C/N- en C/P-ratio's van de L/F-horizont vrij gering is, terwijl de range in de Ah-horizont aanzienlijk is. Blijkbaar verlopen de omzettingsprocessen zodanig dat er een differentiatie in C/N- en C/P-ratio's van de Ah-horizont van standplaatsen ontstaat die wordt gestuurd door de basentoestand. In veldpodzol- en moerpodzolgronden veranderen de C/N- en C/P-ratio slechts weinig tijdens het omzettingsproces. Op deze plaatsen ontstaat een dik strooiselpakket. Bij de beekeerdgronden met een cultuurdek (cZg) vindt er juist een sterke daling in nutriëntenratio's plaats. Naarmate de standplaats armer is aan basen, neemt de biologische activiteit af en ontwikkelt zich een voorraad stikstof en fosfor in een ecto-organische humusprofiel. De standplaatseigenschappen worden door de vegetatie gecontroleerd. Op basenrijke standplaatsen is een grote biologische activiteit aanwezig, waardoor organische stof wordt afgebroken en geen voorraadvorming optreedt in de vorm van ecto-organische humusprofielen. De standplaatseigenschappen zijn hier physiografisch bepaald. (zie ook Vos en Stortelder, 1988)

In de Wildenborch komen plaatselijk beekeerdgronden voor (locatie II,X,XI) waar de H/Ca-ratio de kritische grens van 30 is overschreden. Deze gronden zijn sterk

verzuurd en ontwikkelen zich in een richting, waarbij de omzetting van strooisel trager verloopt. Dit uit zich in de ontwikkeling van ecto-organische humusprofielen waarin nutriënten zich accumuleren.
Er kan worden geconcludeerd dat de opbouw van het humusprofiel informatie bevat over de snelheid van de nutriëntenkringloop in het systeem.

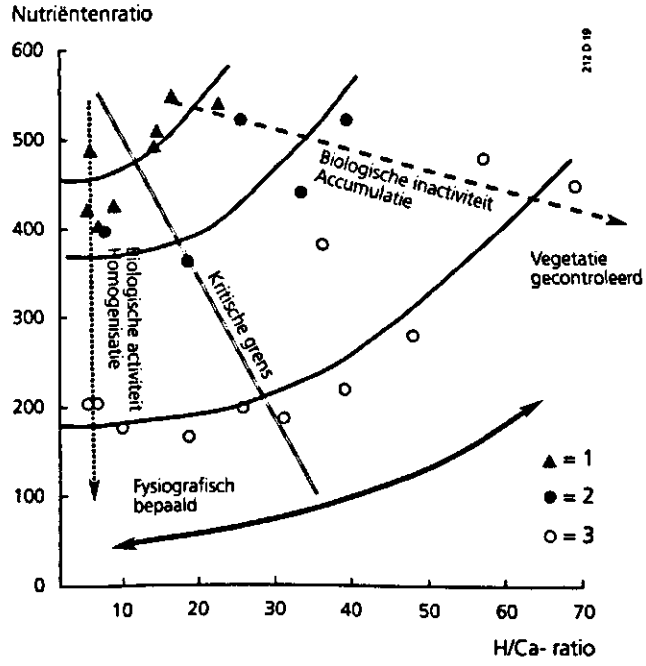


Fig. 19 Geschematiseerde verbanden tussen nutriëntenratio en basentoestand in verschillende horizonten van het humusprofiel. De cijfercode geeft de humushorizont aan waaruit het monster afkomstig is (zie figuur 16)

4.5 Conclusies

Uit het humusonderzoek in de Wildenborch blijkt dat er een grote variatie aan humusprofielentypen voorkomt. Het voorkomen van een type is niet eenduidig gekoppeld aan een bodemtype. Rhizomulls, de typische vorm voor beekeerdgronden, komen nog slechts plaatselijk voor op standplaatsen met een nog redelijke calciumbezetting van het adsorptiecomplex. Deze standplaatsen zijn het sterkst gebufferd tegen een verzuring van de bodem die in de Wildenborch aan de gang is. Het betreft de beekeerdgronden met een cultuurdek rond het landhuis en de laagst gelegen beekeerdgronden. Het buffersysteem via kationenwisseling is elders vrijwel volledig uitgeput. De verzuring heeft tot gevolg dat plaatselijk, op standplaatsen waar oorspronkelijk basenrijke omstandigheden en snelle nutriëntenkringlopen voorkwamen, een bodemkundige ontwikkeling op gang is gekomen die leidt tot basenarme standplaatsen met een stagnerende nutriëntenkringloop. Deze standplaatsen worden bodemkundig gekenmerkt door de ontwikkeling van ecto-organische humushorizonten, omdat de afbraak van organisch materiaal kleiner is dan de aanvoer. De typische humusprofieltypen daarbij zijn moders. Deze humusprofieltypen worden ook aangetroffen op veldpodzol- en moerpodzolgronden, die van oorsprong een basenarm karakter hebben.

5 Hydrologie

5.1 Stroming van het diepe grondwater

De stroming van het grondwater in het primaire stelsel is noordwest gericht en buigt in de omgeving van de IJssel naar westelijke richting. Figuur 20 laat een isohypsenkaart van april 1975 zien (Grootjans, 1984). De grondwaterwinningen Lochem en Dennenwater hebben volgens dit figuur geen wezenlijke invloed op het stromingsbeeld. Berekeningen geven aan dat deze winningen geen verlaging tot gevolg hebben van het grondwaterniveau bij de Wildenborch. De Wildenborch ligt wel in het intrekgebied van de waterwinning Dennenwater (Dierx, 1987; Provincie Gelderland, 1985; Heidelberg en Supèr, 1991). De globaal berekende intrekgebieden staan aangegeven in figuur 21. In dit figuur zijn ook twee varianten van de ligging van de begraven stuwwal aangegeven; de westelijke volgens de Rijks Geologische Dienst (1991) en de oostelijke volgens Engelen (1993). Boorgegevens die bij meetpunt P5 zijn verkregen duiden niet op de aanwezigheid van de stuwwal. Mochten verticale kleischotten in de begraven stuwwal tot een opwaartse grondwaterstroming leiden zoals Zuurdeeg (1991) veronderstelt, dan zullen deze aan de bovenstroomse (zuidoost)rand van de stuwwal mogen worden verwacht. De Wildenborch ligt aan de noordwestzijde van de stuwwal, waar dan juist een grotere voeding van het diepere grondwater zal plaatsvinden. Volgens Engelen (1993) vormt het bekken van het Zwarte Veen, gelegen tussen de begraven stuwwal en het landgoed, een dergelijk infiltratiegebied.

Aan de hand van de gemeten stijghoogte van het grondwater in de 6 buizen op 28 april en op 14 juli zijn isohypsenkaarten samengesteld (figuur 22). De isohypsen op 28 april geven normaliter een gemiddelde, evenwichtige situatie aan het begin van het groeiseizoen weer. Hoge winterstanden zijn uitgezakt en capillaire nalevering onder invloed van de verdampingsvraag van de vegetatie is nog niet van betekenis. Het verhang van het stijghoogte is ten oosten van de Wildenborch groter (0,45 0/00) dan aan de westzijde (0,3 0/00). In dit soort situaties mag op de overgang kwel verwacht worden, in dit geval aan de oostzijde van het landgoed. Ten opzichte van 28 april 1975 (figuur 20) was de grondwaterstroming op 28 april 1993 iets meer naar het westen gericht en was het gemiddelde verhang iets groter omdat de 11.00 isohypse iets verder naar het oosten is gelegen.
De laagste standen zijn gemeten op 14 juli. Deze waren ongeveer 0,5 meter lager dan de standen van 28 april. De stroming was iets meer naar het noordoosten gericht en het verschil in verhang van het grondwater ten zuidoosten en ten noordwesten van de Wildenborch is kleiner geworden.

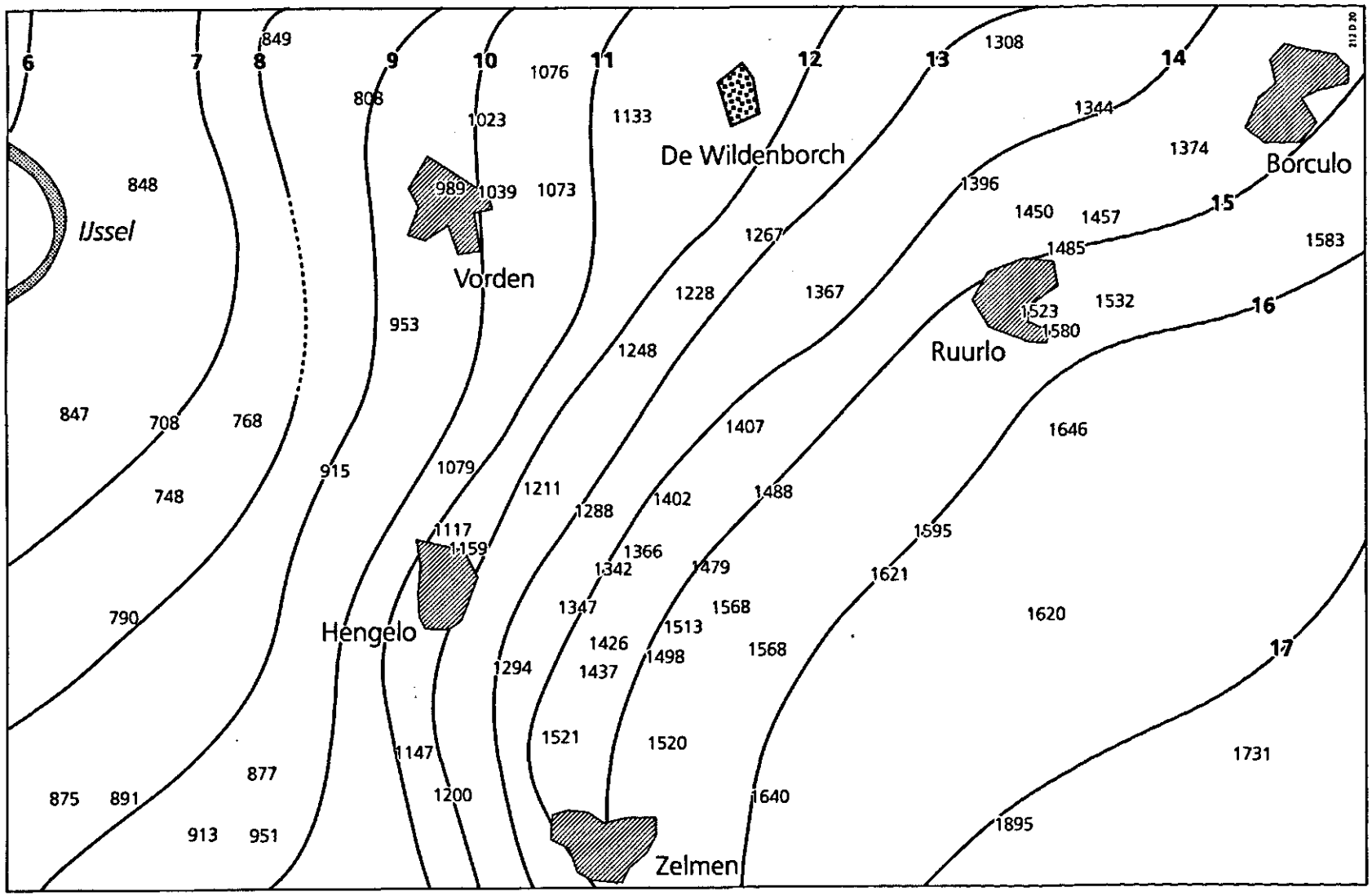


Fig. 20 Isohypsen (m. +NAP) van het diepe grondwater d.d. 28 april 1975

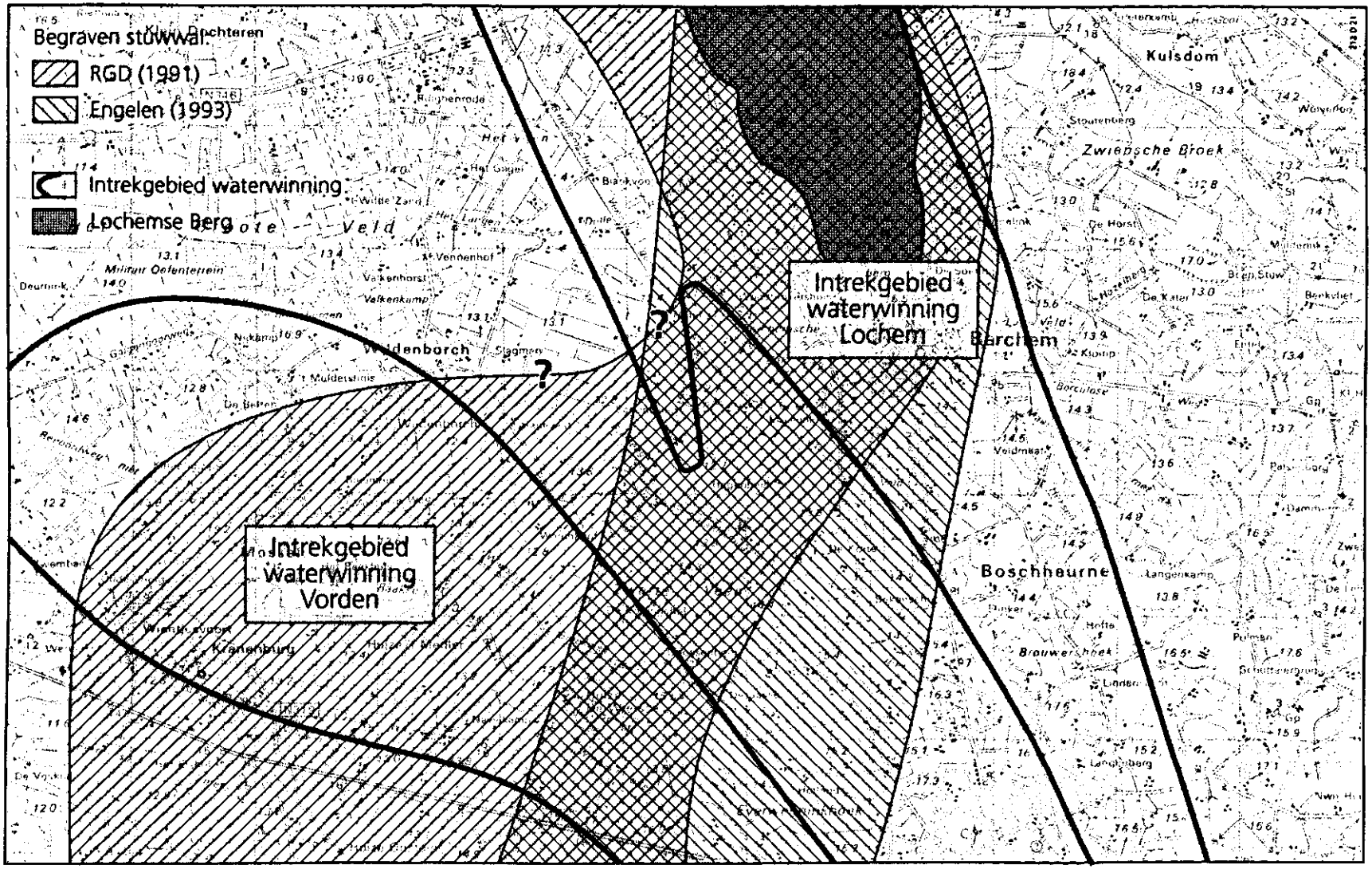


Fig. 21 Intrekgebieden van de waterwinningen Lochem en Dennenwater en de ligging van de begraven stuwwal

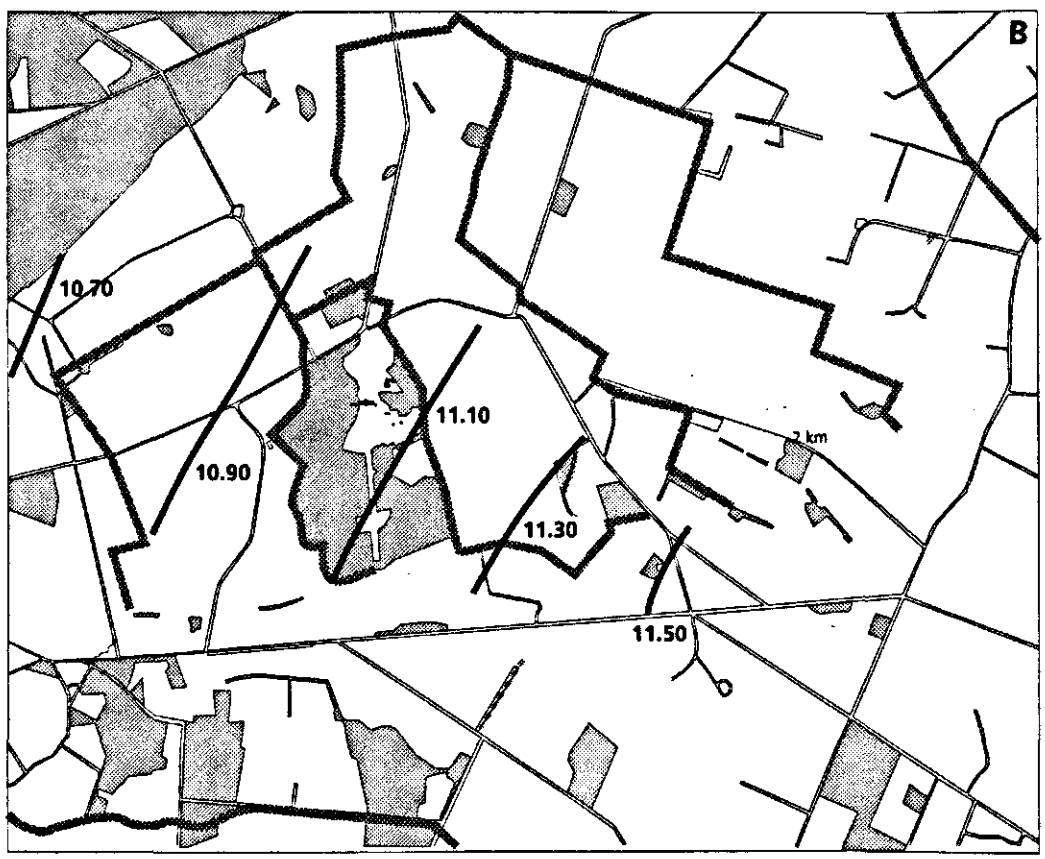


Fig. 22 Isohypsen (m. + NAP) van het diepe grondwater.
A. d.d. 28 april 1993; B. d.d. 14 juli 1993

Bij alle 6 meetplekken van het primaire meetnet blijkt geen meetbaar stijghoogteverschil met het freatische grondwater te zijn. De doorlatendheid van de fijnzandige bovengrond vormt geen stagnerende factor van betekenis voor de verticale flux tussen het grondwater in het watervoerende pakket en het bovenliggende fijne dekzand. Ook niet op de plekken P1 en P2, waar op circa 4 meter diepte een kleilaagje is aangetroffen. Een kwantificering van de verticale flux is derhalve niet mogelijk. Een stijghoogteverschil (dh) van 0,01 meter zou met een dikte van het dekzand (D) van 4,0 meter en een doorlatendheid (k) van 0,75 meter per etmaal al een flux opleveren van dh : (D : k) = 0,0019 m ofwel 1,9 mm/etmaal. Met uitzonderingen van plekken met een verlaagd (grond-)waterniveau, zoals bij ontwaterende waterlopen, zullen de isohypsen een grilliger verloop volgen en meer overeenkomen met die van het freatische grondwater.
In het dekzand zullen overwegend radiale en verticale fluxen optreden en in het watervoerende pakket zal de stroming overwegend horizontaal zijn. Met een verhang (i) van 0,4 0/00 en een berekende doorlaatfactor (k) voor de grove ondergrond van 57 m/etm (zie 3.1) bedraagt de filtersnelheid k x i = 57 x 4,0 x 10^{-4} = 0,023 m/etm ofwel 8,4 m/jaar. Als aanvulling zijn berekeningen uitgevoerd met het 2-dimensionale grondwaterstromingsmodel STRELIN (Groenendijk, in prep.) voor een oost-west doorsnede door het landgoed. STRELIN is een stationair model waarmee stroomlijnen berekend kunnen worden. De belangrijkste randvoorwaarden zijn:
- een geohydrologische schematisatie conform figuur 5.
- een doorlaatfactor van 0,75 m/etm voor de fijnzandige bovengrond en voor de grofzandige ondergrond een horizontale factor van 57 en op grond van het gelaagde profiel een geschatte verticale factor van 10 m/etm
- een jaargemiddelde situatie met een neerslagoverschot van 750 mm neerslag minus 500 mm verdamping over een periode van 365 dagen, ofwel 0,7 mm/etm voor het beboste landgoed en van 0,9 mm/etm (750 mm - 425 mm: 365 dagen) voor de agrarische omgeving
- in het landbouwgebied wordt een deel van het neerslagoverschot via tertiaire waterlopen wordt afgevoerd. Daartoe zijn op regelmatige afstanden perceelssloten gesimuleerd.
- de grachten in binnen het landgoed hebben geen ontwaterende functie
- de peilen in de waterlopen zijn zoveel mogelijk gebaseerd op de standen van april 1993

De berekende stroombanen staan in figuur 23. De diepe grondwaterstroming is oost-west gericht. De Afwatering van Groenouwe vangt een gedeelte van het diepe grondwater af dat voor een belangrijk deel in het zuidoostelijke gelegen landbouwgebied is geïnfiltreerd. Aan de westzijde van het landgoed voert de Afwatering van het Kranengoor water af dat hoofdzakelijk in het landgoed is geïnfiltreerd. De stroming in dit gemiddelde beeld reikt tot in de grove zandondergrond. Daarentegen zal in een zomerperiode, wanneer de waterlopen geen ontwaterende functie meer hebben, de stroombanen hoofdzakelijk oost-west gericht zijn.

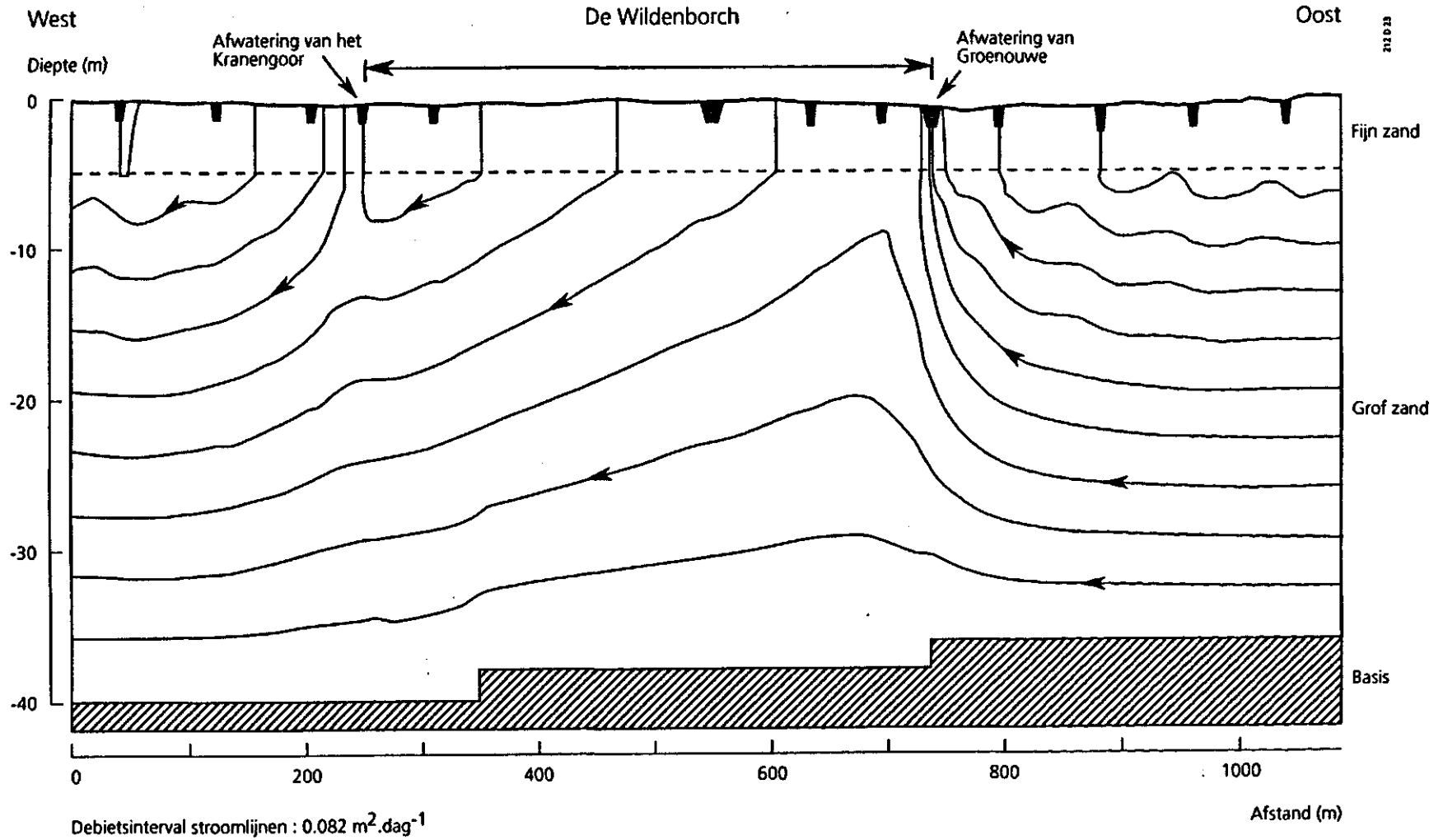


Fig. 23 Globaal berekende stroombanen in een oost-west doorsnede door de Wildenborch voor een jaargemiddelde situatie

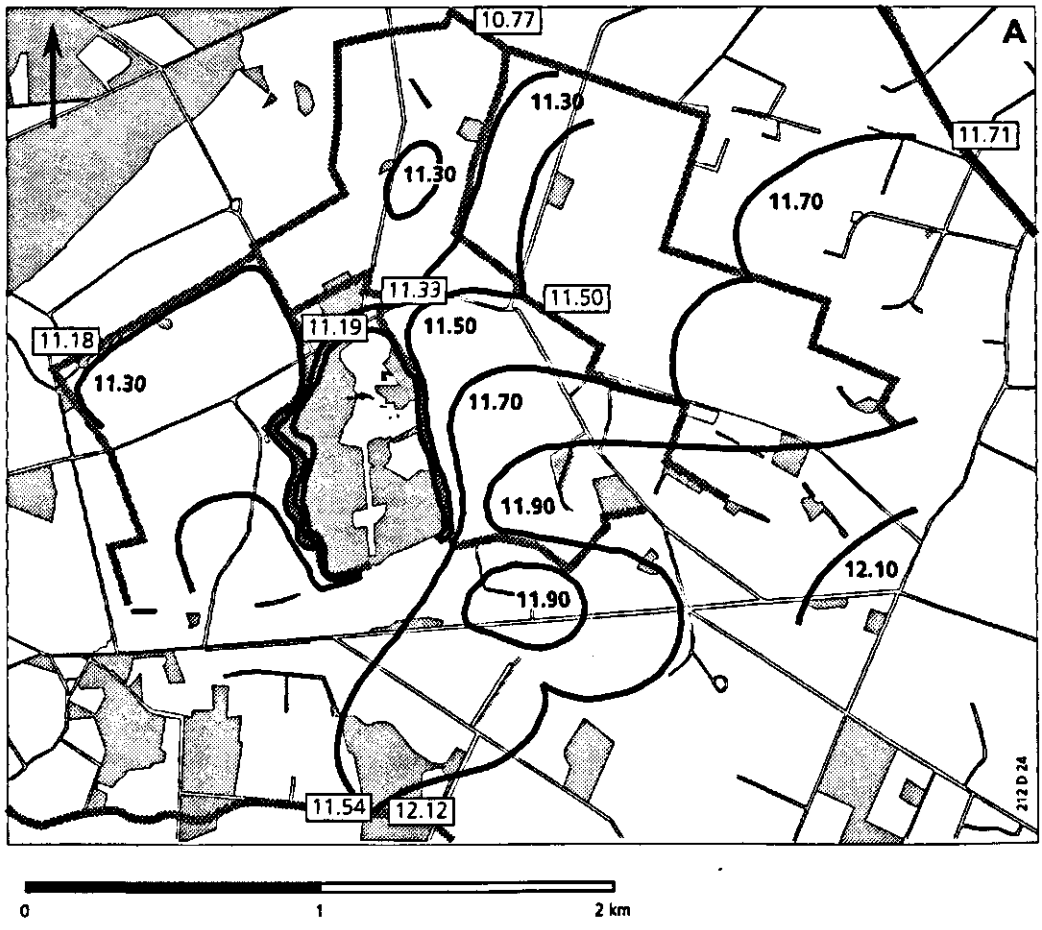
5.2 Stroming van het freatische grondwater

5.2.1 Het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot

Aan de hand van de standen die op 28 april 1993 via het secundaire meetnet zijn gemeten is een isohypsenkaart samensgesteld (figuur 24a). Rond de Wildenborch konden deze gedetailleerder in kaart worden gebracht vanwege een groter aantal meetpunten. Het isohypsenpatroon laat zien dat de ondiepe grondwaterstroming overwegend noordwest gericht is, maar dat deze daarbij sterk wordt beïnvloed door de drainerende werking van de waterlopen. Het peil in de omringende waterlopen is enkele decimeters lager dan de grondwaterstand in de Wildenborch. In het landgoed is het niveau van het grond- en oppervlaktewater vrij vlak en varieert tussen de tussen de 11,50 en 11,60 m. + NAP, met alleen in het noordwesten iets lagere standen. De geringe variatie hangt samen met de aanwezigheid van een vertakt waterlopenstelsel dat eenzelfde waterpeil heeft. Ten westen en noorden van de Wildenborch heeft het grondwater een gering verhang. Aangrenzend aan de zuidoostzijde van het landgoed is het verhang groter. De 11,90 isohypse vormt hier een lob tussen de waterlopen en reikt tot dicht bij het landgoed. Het peil in de Baaksche beek, waar het gebied tot in de vorige eeuw op afwaterde, is bovenstrooms van de stuw, die 800 meter ten zuiden van de Wildenborch ligt, 12,12 meter en benedenstrooms 11,61 m+NAP. De meetperiode omvatte geen winterhalfjaar waarin de hoogste grondwaterstanden konden worden gemeten. Op grond van de grondwatertrappen (zie 5.3) mag verwacht mag worden dat deze tot ongeveer een 0,5 meter hoger zijn dan de standen in het voorjaar (van der Sluis, 1982) en dat de isohypsen dan meer de hoogtelijnen volgen. De laagste standen van het seizoen, van 14 juli 1993, dienden als uitgangspunt voor de isohypsen in figuur 24b. De noordwestelijk gerichte grondwaterstroming wordt vrijwel niet door drainerende waterlopen onderbroken. Alleen de Afwatering van Groenouwe, die langs de oostzijde van de Wildenborch loopt, heeft een wat afwijkend peil. Langs de zuidelijke helft van het landgoed wordt deze waterloop nog gevoed met grondwater dat vanuit zuidoostelijke richting toestroomt. Meer naar het noorden is het peil hoger dan het aangrenzende grondwaterniveau en treedt er een infiltratiestroming op. Doordat de grachten nog water voeren is het grondwaterniveau in de Wildenborch nog vrij vlak. Wanneer ook deze droog staan, zal het verhang gelijkmatiger worden. In een normale zomer zal dat op de meeste plaatsen het geval zijn. Volgens de grondwatertrappen ligt het gemiddeld laagste grondwaterniveau circa 0,50 m beneden de aangegeven waarden.

5.2.2 Het landgoed de Wildenborch

Het grondwaterniveau in de Wildenborch is vrij vlak. Het peil in het waterlopen wijkt hier nauwelijks van af. Alleen bij erg hoge standen wateren deze via enkele vertakkingen af op de aangrenzende Afwateringen. De vijvers in het noordelijke parkgedeelte liggen in hydrologisch opzicht geïsoleerd. De bodem ervan is slecht doorlatend waardoor de waterstanden er minder sterk fluctueren.



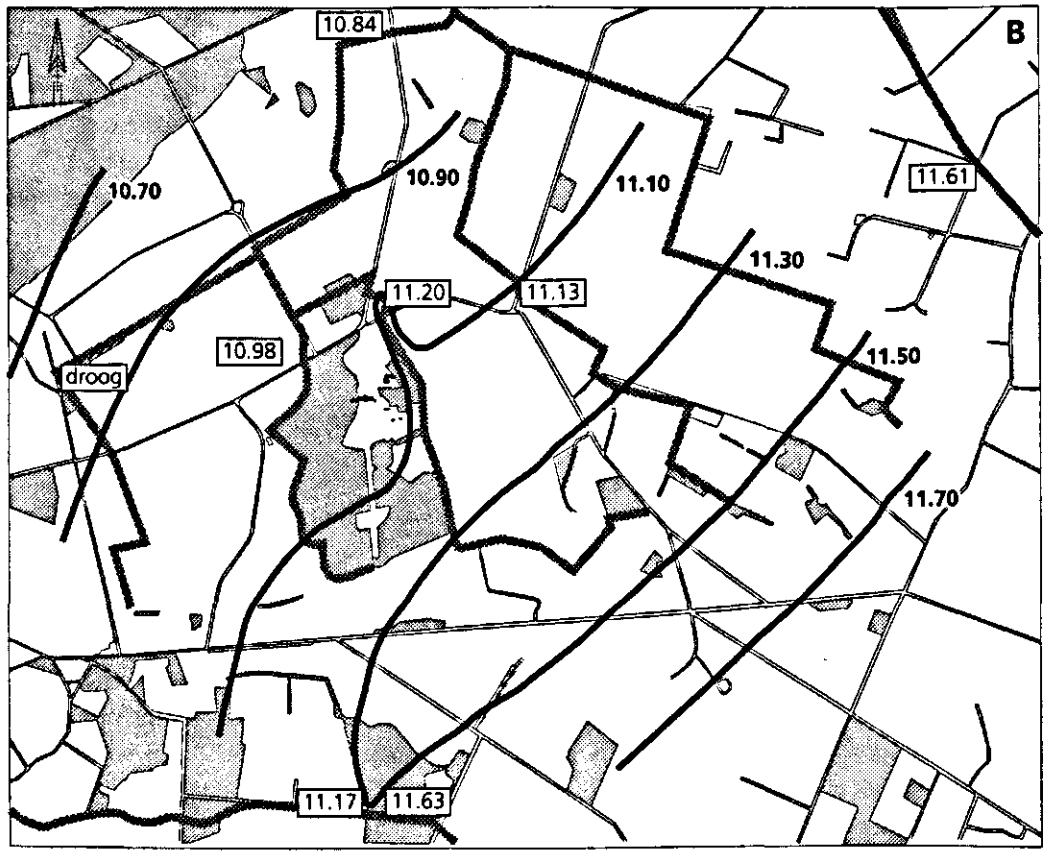


Fig. 24 Isohypsen (m. + NAP) van het freatische grondwater.
A. d.d. 28 april 1993; B. d.d. 14 juli 1993

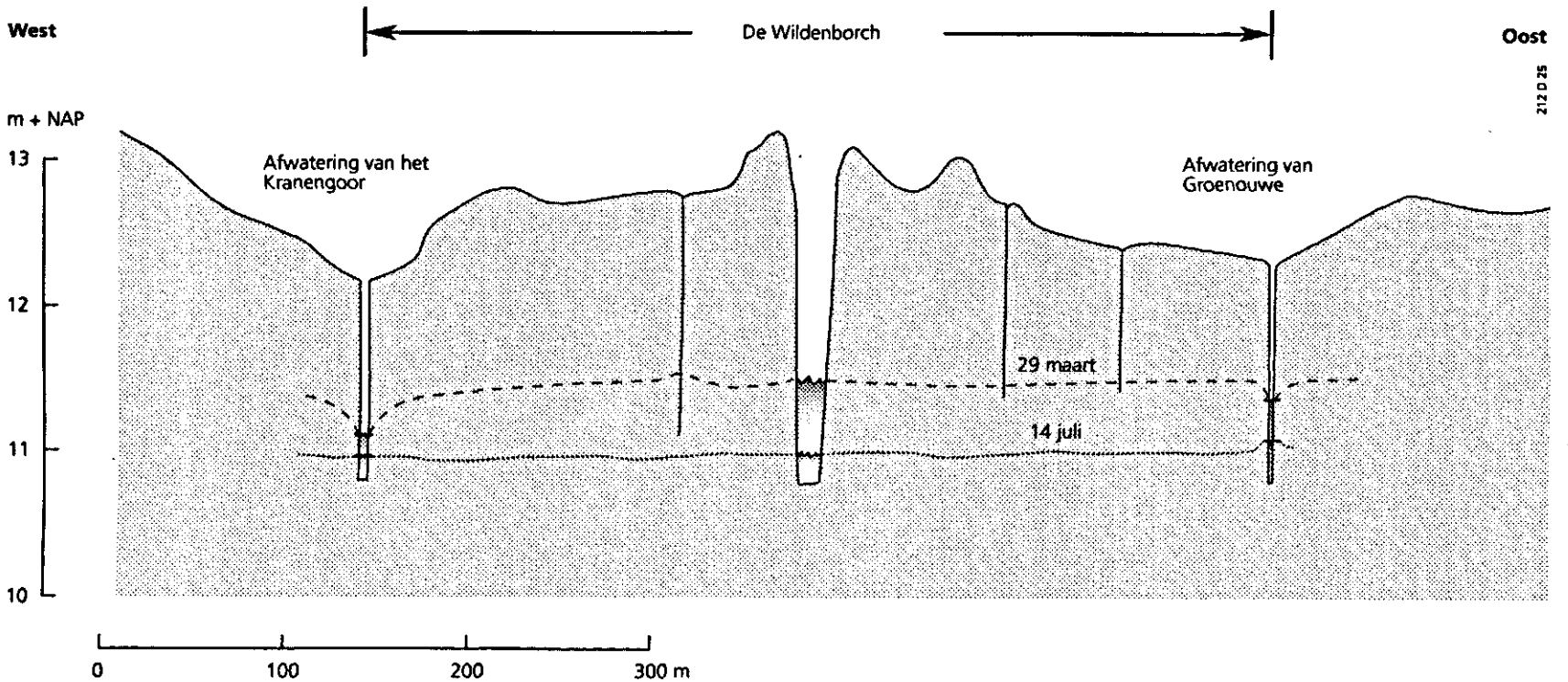


Fig. 25 Waterniveau in een oost-west doorsnede door de Wildenborch

Figuur 25 laat een oost-west doorsnede midden door de Wildenborch zien. Op 29 maart was het peil in de grachten enkele centimeters hoger dan het aangrenzende grondwaterniveau. Het peil in de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor was ongeveer 25 cm lager. Ten opzichte van NAP bedroeg het peil 11,35 m+. Het peilverschil tussen de zuiden en noorden in het aangrenzende gedeelte bedroeg 2cm. Het peil in de Afwatering van het Kranengoor was 11,21 m +NAP, met een peilverschil van 18 cm tussen zuid en noordzijde. Ook bij lagere standen blijft hierin een vergelijkbaar peilverschil bestaan. Uit de profielen van beide waterlopen (Waterschap van de Berkel, niet gepubl.) blijkt alleen de zuidelijke helft van de Afwatering van het Kranengoor met 0,89 0/00 een wat groter verhang te hebben dan de noordelijke helft (0,30 0/00). De Afwatering van Groenouwe heeft een verhang van 0,29 0/00. Behalve een schotbalkstuw met een stuwpeil van 11,78 m +NAP, die even ten zuidoosten van de Wildenborch in de Afwatering van Groenouwe is gesitueerd (figuur 1) ligt er een aantal duikers in beide waterlopen, maar deze vormen geen belemmering voor de afvoer. Toch lijkt er aan de noordoostzijde van de Wildenborch (meetpunt W4) in de Afwatering van Groenouwe een opstuwing van het water plaats te vinden, waardoor het gemiddelde verval langs de Wildenborch uiterst klein is; ongeveer 2 cm over 785 meter. Vanaf W4 tot de uitstroming in de Afwatering van het Kranengoor moet het verval dan ongeveer 0,27 cm over 485 meter bedragen. Als gevolg van het hogere peil bij W4 treedt er in drogere perioden, waarin de afvoer goeddeels is weggevallen, langs een gedeelte van de Afwatering van Groenouwe een infiltratiestroming op. In figuur 25 is dit geïllustreerd aan de hand van de standen op 14 juli. Figuur 26a, met tijdstijghoogtelijnen van het grondwater op een plek in het noordoosten van het landgoed (meetpunt S17), het oosten (S24) en het zuidoosten (S29) en het peilverloop in de Afwatering van Groenouwe, laat zien dat tot half mei de Afwatering een drainerende werking heeft. Na eind mei is het peil aan de noordoostzijde hoger dan het grondwaterniveau en vindt er een infiltratiestroming plaats. Voor het middengedeelte ligt het omslagpunt op begin juli. De voeding vond voor het belangrijkste gedeelte plaats vanuit zuidoostelijke richting. Vanaf half juli is de dalende tendens afgebroken door een erg natte periode. Opvallend in figuur 26a is verder dat bij plek 24 de daling van de grondwaterstand gelijkmatiger verloopt dan bij de beide andere plekken. Het grotere bergende vermogen van moerige bovengrond is daar debet aan.
Voor de westzijde van de Wildenborch is het tijd-stijghoogteverloop van het grondwater in het midden (S26) en in het uiterste zuidwesten (S12) gegeven en verder het peil in de Afwatering van het Kranengoor in het zuidoosten (W8) en noordwesten (W5). De afwatering heeft in het zuiden een drainerende werking tot de lage standen van begin juli zijn bereikt, waarna het peil hoger is dan het grondwaterniveau in de omgeving. Ook hier vindt een voeding vanuit zuidoostelijke richting plaats, maar op 14 juli was het niveauverschil met het grondwater ten zuiden van de Wildenborch nagenoeg weggevallen. Het peil in de Afwatering van het Kranengoor, ter hoogte van plek 26 is iets lager dan het gemiddelde van W5 en W8. Hier is ook de drainerende werking na half juni veranderd in een infiltratiestroming.
Op 14 juli zijn de laagste standen van het groeiseizoen gemeten. Uitgaande van de hydromorfe kenmerken van de bodem zouden de standen in een normale zomer nog 50-60 cm verder dalen. In dat geval staan zowel de beide afwateringen als de grachten binnen het landgoed goeddeels droog en valt het grondwaterniveau terug op een regionaal vlak.

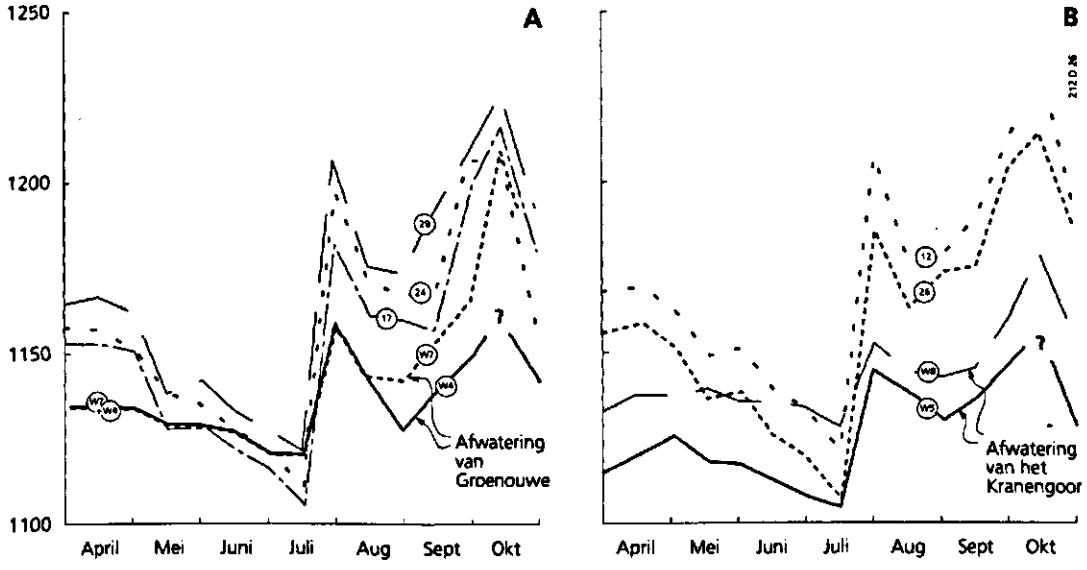


Fig. 26 Het verloop van het peil in de waterlopen en van het grondwater langs de randen de Wildenborch.
A. Oostzijde; B. Westzijde

5.3 Grondwatertrappen

5.3.1 Indeling van het grondwaterstandsverloop

De grondwaterstand op een bepaalde plaats varieert in de loop van een jaar. Doorgaans zal het niveau in de winter hoger zijn dan in de zomer. Bovendien verschillen grondwaterstanden ook van jaar tot jaar op hetzelfde tijdstip (Van Heesen en Westerveld 1966). Het jaarlijks wisselend verloop van de grondwaterstand op een bepaalde plaats is te herleiden tot een geschematiseerde curve. Deze kan gekarakterisserd worden door een gemiddeld hoogste (GHG), gecombineerd met een gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Hieronder wordt verstaan het rekenkundig gemiddelde over zoveel mogelijk achtereenvolgende jaren (liefst 8 jaar) van de hoogste/laagste drie grondwaterstanden per hydrologisch jaar (1 april - 31 maart) van buizen die op of omstreeks de 14e en 28e van elke maand gemeten worden.

5.3.2 Het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot

De in het stroomgebied aangegeven grondwatertrappen (figuur 6) zijn ontleend aan de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000, waarbij het veldwerk in 1978 werd afgesloten. Door een verbeterde ont- en afwatering komen er geen extreem hoge grondwaterstanden voor. Binnen de gooreerdgronden komen de grondwatertrappen

III* (nu IIIb; De Vries en Van Wallenburch; 1990) en V* (nu Vb) voor. De dekzandruggen met daarin laarpodzolgronden hebben grondwatertrap VI, de veldpodzolgronden grondwatertrap V* en de in het stroomgebied van de Baaksche Beek gelegen beekeerdgronden hebben grondwatertrap III en III*.

5.3.3 Beschrijving van de grondwatertrappen in het landgoed de Wildenborch

Binnen het landgoed de Wildenborch zijn zes verschillende grondwatertrappen onderscheiden: IIIa, Vao, Vbo, VIo, VId, VIId.

grondwatertrap	gemiddeld hoogste grondwaterstand (in cm - mv.)	gemiddeld laagste grondwaterstand (in cm - mv.)
IIIa	0 - 25	80 - 120

De grondwatertrap IIIa komt voor in het oostelijke deel van het landgoed. De broekeerdgronden met grondwatertrap IIIa hebben een GLG rond de 80 cm - mv. Ten zuiden van het kasteel komen in een smalle strook langs de vijver laaggelegen matig dikke beekeerdgronden voor met grondwatertrap IIIa.

grondwatertrap	gemiddeld hoogste grondwaterstand (in cm - mv.)	gemiddeld laagste grondwaterstand (in cm - mv.)
Vao	0 - 25	120 - 180
Vbo	25 - 40	120 - 180

Het grootste deel van het landgoed heeft een bodem met grondwatertrap Vbo. Gt Vao met een GHG binnen 25 cm - mv. komt voor in het zuidwestelijke deel. Een stuwtje zorgt er voor dat er in dit gedeelte in natte perioden water minder snel afgevoerd wordt. De overige gronden hebben een GHG tussen 25 en 40 cm. De GLG komt afhankelijk van de landschapppelijke ligging voor tussen 120 en 180 cm.

grondwatertrap	gemiddeld hoogste grondwaterstand (in cm - mv.)	gemiddeld laagste grondwaterstand (in cm - mv.)
VIo	40 - 80	120 - 180
VId	40 - 80	> 180

Grondwatertrap VI komt voor in het zuidelijke deel van het landgoed en in het noordwestelijke deel rond het kasteel. Het zijn over het algemeen de hoger gelegen enkeerdgronden, veldpodzolgronden, moerpodzolgronden en de beekeerdgronden en gooreerdgronden met een goede afwatering op de grachten en waterlopen. De gemiddeld laagste grondwaterstand zal in droge zomers bijna overal tot dieper dan 180 cm - mv. wegzakken. Bij de moerpodzolgronden komt de gereduceerde ondergrond binnen 180 cm - mv.

grondwatertrap	gemiddeld hoogste grondwaterstand (in cm - mv.)	gemiddeld laagste grondwaterstand (in cm - mv.)
VIId	80 - 120	> 180

Grondwatertrap VIId beperkt zich tot de hoogste delen met enkeerdgronden rond het kasteel en in het zuidelijke deel binnen een klein deel van de enkeerdgronden.

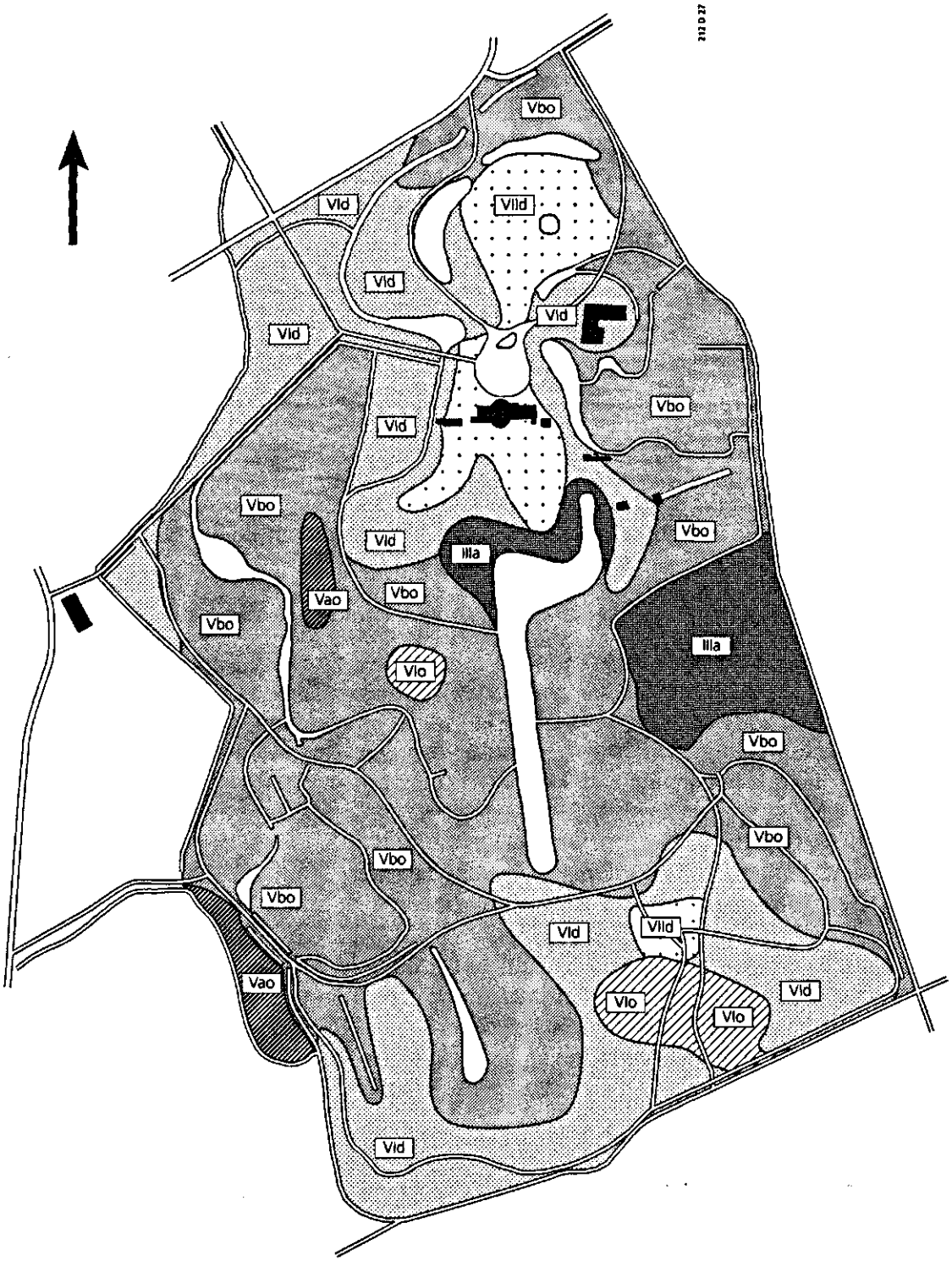
5.3.4 De grondwatertrappenkaart

De verbreiding van de grondwatertrappen is weergegeven op de grondwatertrappenkaart (figuur 27). Op een legenda staan de codes van de grondwatertrappen met het daarbij behorende GHG en GLG traject.

5.4 Beschikbaarheid van bodemvocht

Om na te gaan of de begroeiing in het landgoed als gevolg van de drogere omstandigheden ook daadwerkelijk met vochttekorten te maken heeft gekregen is met het 1-dimensionale hydrologische model SWACROP (Belmans, et al., 1983) van een aantal varianten het verloop van de drukhoogte in de bovengrond, de flux in de onverzadigde zone en de grondwaterstand berekend. De belangrijkste invoergegevens zijn:

- bos als bovenrand;
- geen aan- of afvoer via de onderrand;
- meteorologische de gegevens van een min of meer normaal jaar (1982) en van een zeer droog jaar (1976). De zomer van 1993 was dermate nat dat vochttekorten onwaarschijnlijk zijn.



Grondwatertrap	IIIa	Vao	Vbo	Vlo	Vld	Vlld
Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm - mv.)	< 25	< 25	25 - 40	40 - 80	40 - 80	> 80
Gemiddeld laagste grondwaterstand (cm - mv.)	80 - 120	120 - 180	120 - 180	120 - 180	> 180	> 180

Fig. 27 De grondwatertrappenkaart van de Wildenborch

- als bodemtype (1) een sterk lemige enkeerdgrond met een cultuurdek en een wortelzone van 60 cm en (2) een eveneens sterk lemige beekeerd/gooreerdgrond met een 20 cm dikke humeuze bovengrond en een 40 cm dikke wortelzone;
- een startwaarde van de grondwaterstand op 1 januari van 20 cm.

Uit de modelberekeningen bleek dat de grondwaterstand in 1982 daalde tot ongeveer 175 cm en in 1976 tot ongeveer 200 cm. De meeste beekeerdgronden hebben in werkelijkheid hogere standen omdat deze gronden wat lager zijn gelegen en in de zomer eerder terugvallen op het regionale grondwaterniveau. Om uitsluitend bodemtype en worteldiepte te kunnen vergelijken is hier geen rekening mee gehouden. Het verloop van de berekende drukhoogte staat in figuur 28. Gekozen is om alleen de drukhoogte op 15 cm te presenteren, omdat zich op die diepte ook veel wortels van de kruidlaag bevinden. Tot een drukhoogte van -300 cm is de vochtvoorziening van de vegetatie optimaal (Feddes, 1971). In 1982 is die drukhoogte niet bereikt, maar in 1976 waren er 2 perioden waarin dat wel het geval was. De drukhoogte in de enkeerdgrond was lager dan in de beekeerdgrond. Op 5 cm diepte was de drukhoogte juist in de beekeerdgrond met -864 cm lager dan in de enkeerdgrond (-723 cm). Het theoretische verwelkingspunt ligt op -16000 cm. In de modelberekeningen is -8000cm aangehouden. In zowel 1982 als 1976 was de actuele verdamping van het bos op de enkeerdgrond ongeveer 10 mm groter dan van het bos op de beekeerdgrond. Het verschil tussen de actuele en potentiële verdamping was groter, zoals figuur 29 voor de enkeerdgrond laat zien. De verschillen in 1982 zijn toe te schrijven aan het achterblijven van de evaporatie en terwijl in 1976 ook een beperkte reductie van de transpiratie is opgetreden.

In omstandigheden waarin geen plas-dras situaties meer optreden zal geen kwelwater aan het maaiveld exfiltreren. In dergelijke situaties zal het adsorptiecomplex in de bovengrond aangewezen zijn op capillair water voor de aanvulling met tweewaardige kationen. De verdampingsvraag vormt de drijvende kracht voor de capillaire flux. Voor 5 dieptes zijn de met SWACROP berekende verticale fluxen opgenomen in figuur 30. Het betreffen de gecumuleerde waarden gedurende het groeiseizoen (dagnummer 91-273). Naar verwachting treden de grootste opwaartse (positieve) fluxen op in de droge zomer van 1976. In de beekeerdgronden zijn deze groter en reiken hoger in het profiel dan in de enkeerdgronden, wat voornamelijk samenhangt met de dikte van de wortelzone. In de beekeerdgrond wordt de capillaire flux verdeeld over de bovenste 40cm opgenomen en in de enkeerdgrond over de bovenste 60 cm. Aan het einde van het groeiseizoen van 1982 is de diepte waarop de gecumuleerde flux weer gelijk is aan 0 voor de beekeerdgrond 18 cm en voor de enkeerdgrond 33 cm. In 1976 was dat 13 cm voor de beekeerdgrond en 22 cm voor de enkeerdgrond.

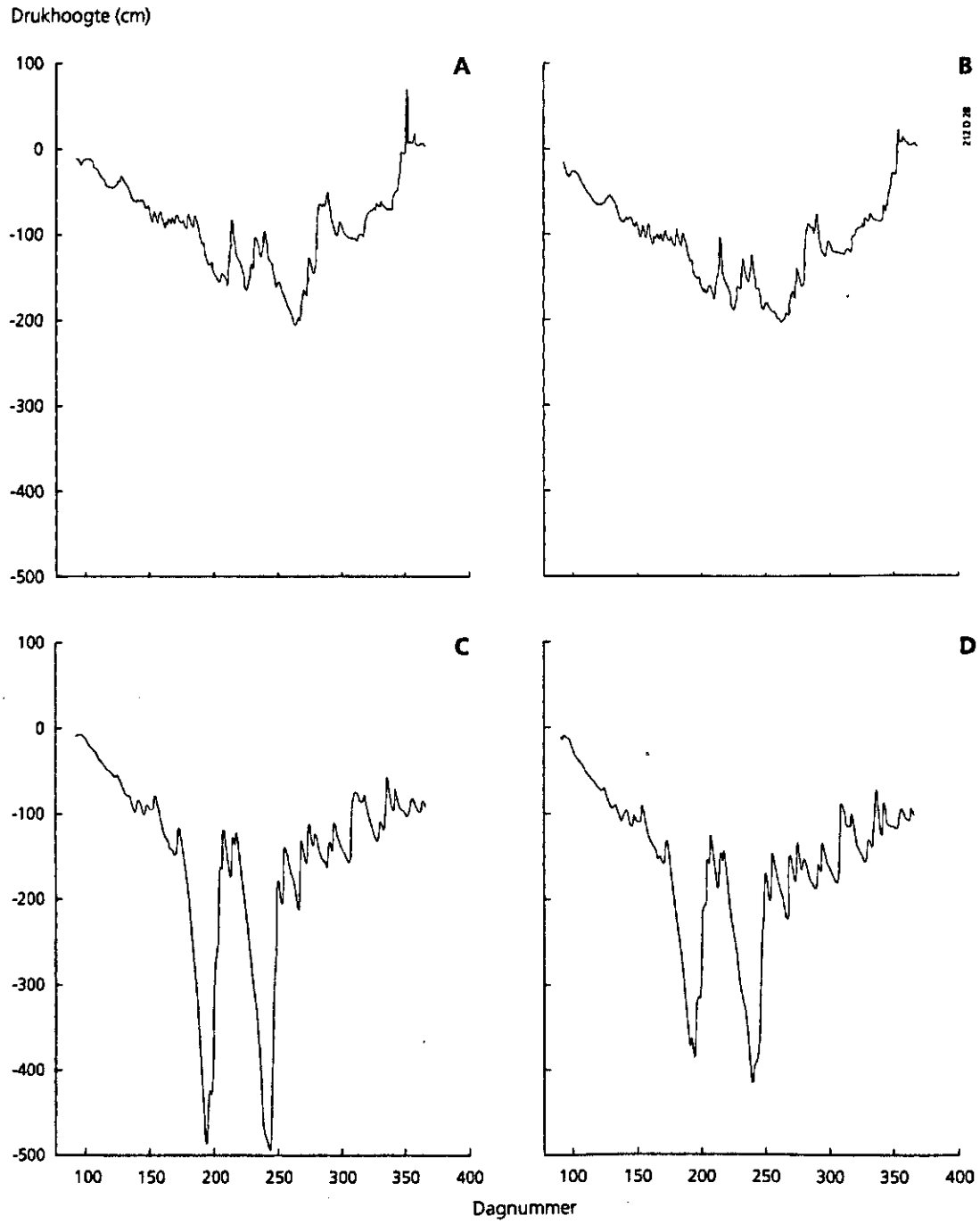


Fig. 28 Drukhoogte op 15 cm diepte
A: Enkeerdgrond 1982; B: Beekeerdgrond 1982; C: Enkeerdgrond 1976;
D: Beekeerdgrond 1976

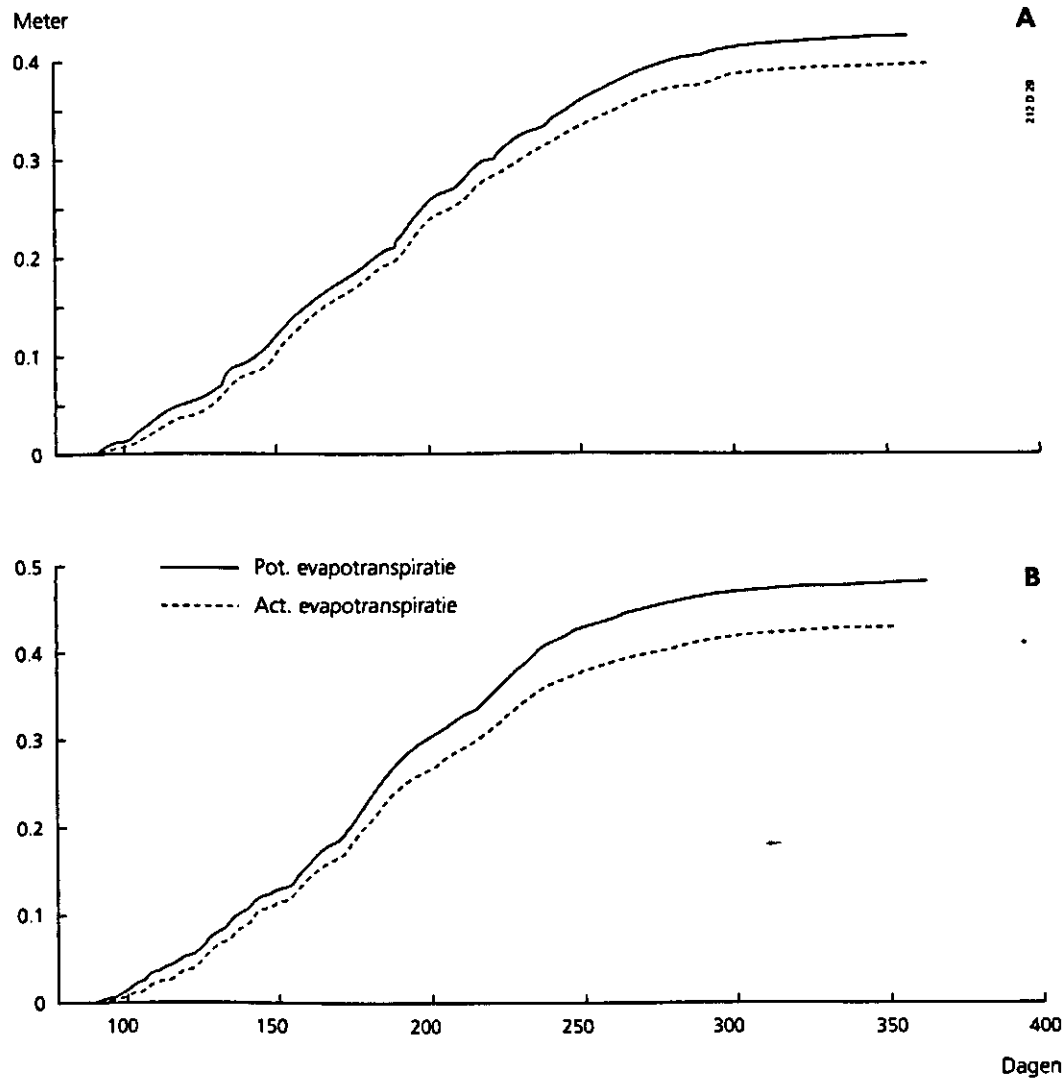


Fig. 29 Cumulatieve actuele en potentiële verdamping van het bos op de enkeerdgrond. A: 1982; B: 1976

5.5 Veranderingen in de tijd

Ingrepen zoals het aanleggen van de Wildenborchsche Veengoot, het graven en uitdiepen van ondermeer de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor, de onttrekking van diep grondwater en de uitvoering van de ruilverkaveling Ruurlo hebben ertoe geleid dat er in het gebied rond de Wildenborch de wateroverlast is teruggedrongen, de grondwaterstanden zijn gedaald en de kwelflux is afgenomen. In de periode voor 1950 zijn hier geen systematische metingen naar verricht. In 1952 en 1953 zijn via een meetnet ten behoeve van het onderzoek naar de waterhuishouding in Gelderland op een groot aantal plaatsen grondwaterstanden gemeten (Reuter en Kouwe, 1958). De daaruit afgeleide verdrogingskaart laat zien dat de hogere enkeerdgronden aan de westzijde van de Wildenborch uit landbouwkundig oogpunt een goede waterhuishouding hadden, maar dat de andere aangrenzende gronden nog met wateroverlast kampten. Over de Wildenborch zelf is geen uitspraak

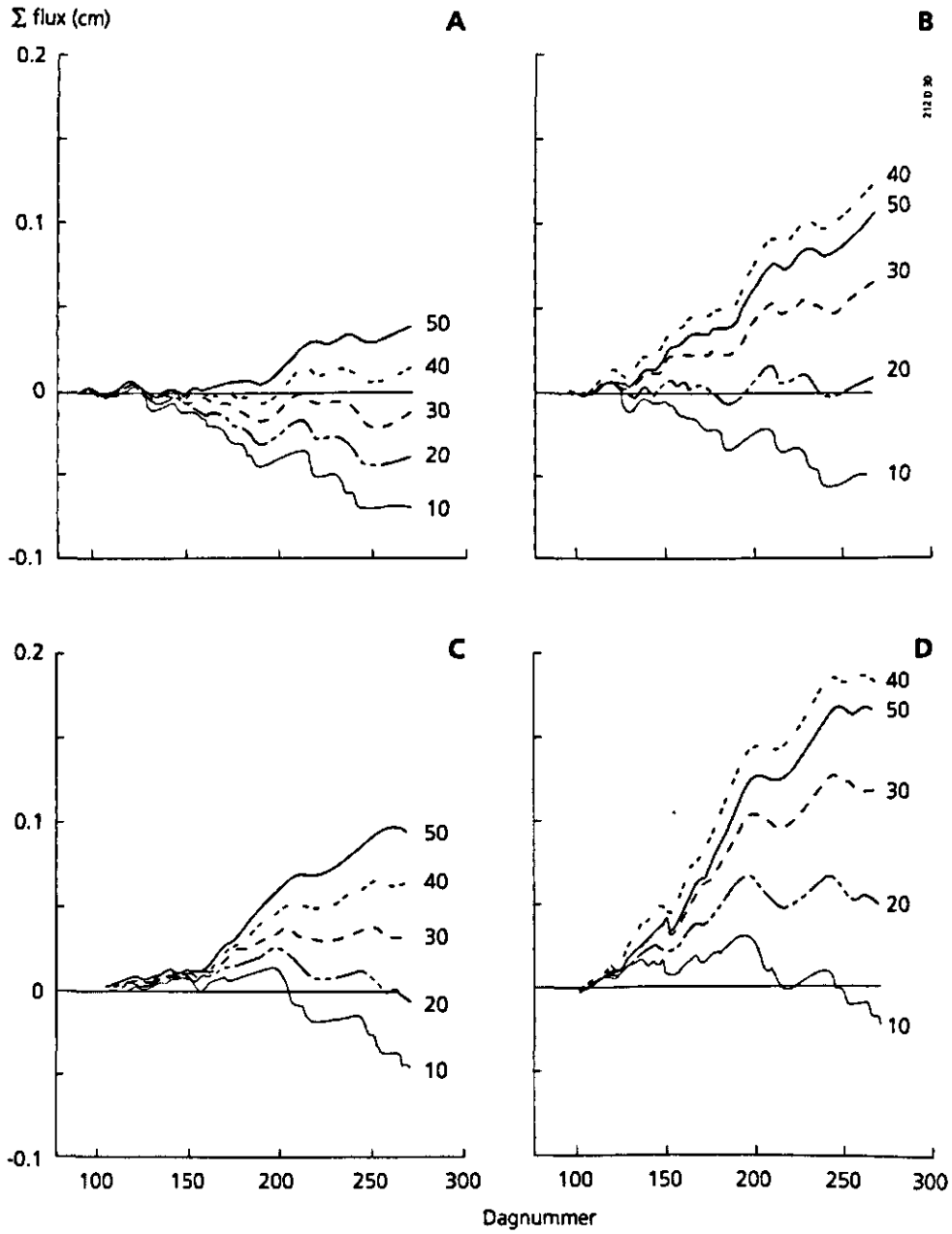


Fig. 30 Cumulatieve verloop van de verticale flux op 10, 20, 30, 40 en 50 cm beneden maaiveld gedurende het groeiseizoen. (positief = opwaarts; negatief = neerwaarts)
A: Enkeerdgrond 1982; B: Beekeerdgrond 1982; C: Enkeerdgrond 1976; D: Beekeerdgrond 1976

uitspraak gedaan. De wintergrondwaterstanden lagen in het hele gebied tussen de 20 en 40 cm beneden maaiveld en de zomergrondwaterstanden tussen de 100 en 140 cm.

Een groot aantal meetpunten in het meetnet van de Dienst Grondwater Verkenning-TNO worden sinds 1950 nog regelmatig waargenomen. Aan de hand van de punten met een complete reeks waarnemingen is een onderzoek naar de verdroging in Gelderland over de periode 1950 - 1987 uitgevoerd (Lambert, 1989). De grondwater-

standen zijn gecorrigeerd voor de meteorologische omstandigheden. Het bleek dat in een groot gedeelte van de Achterhoek dalingen tussen de 10 en 30 cm waren opgetreden. Tussen Lochem en Ruurlo bedroeg de daling 15 tot 25 cm. In Vorden, aan de westzijde van het landgoed is de daling tot 11cm beperkt gebleven. De daling op deze plekken begon in 1958 en had in 1965 het maximum bereikt waarna tot 1973 weer een geringe stijging is opgetreden. Het gelijkmatige verloop duidt erop dat er geen grote ingrepen aan de waterhuishouding ten grondslag liggen, maar mogelijk periodieke verbeteringen of grondwaterwinningen. Aan de noordzijde van het landgoed liggen geen meetpunten. Op 2 km ten zuiden van de Wildenborch ligt put B14 waar geen verandering in de grondwaterstand is geconstateerd.
De verdroging in Gelderland is ook aan de hand van een cumulatieve som analyse van grondwaterstanden onderzocht (Kooiman et al., 1993). Opvallend is dat voor meetpunt B14 wel een daling van de gemiddelde grondwaterstand is geconstateerd en wel van 19 cm in de zomer en 14 cm in de winter. Aan het clustergebied waarin de Wildenborch ligt is een daling van de gemiddelde zomerstanden van 0-20 cm en van de gemiddelde winterstanden van 20-30 cm toegekend.

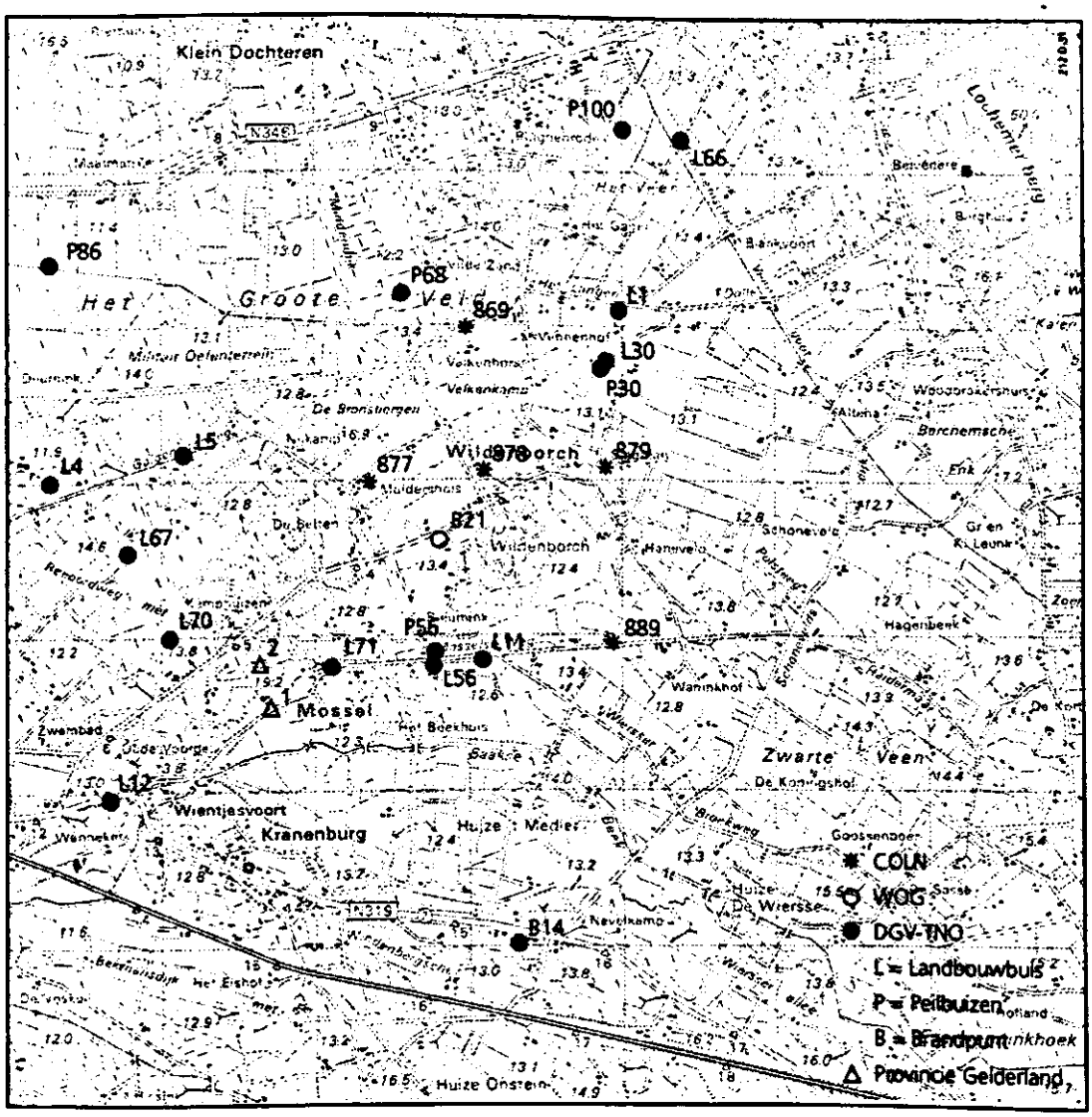


Fig. 31 Punten van duurzame grondwatermeetnetten in de omgeving van de Wildenborch

Van een aantal meetpunten die in de direkte omgeving van de Wildenborch liggen zijn de veranderingen in de grondwaterstand berekend. Bij de selectie van meetpunten is uitgegaan van:
- freatische grondwaterstanden (landbouwbuizen);
- de beschikbaarheid van een langdurige reeks van grondwaterstanden;
- een ligging verspreid rond het landgoed.
De punten L1, L4 en L11 voldoen aan deze voorwaarden (figuur 31). De grondwaterstanden van deze punten zijn gerelateerd aan die van het nabij gelegen punt B14 waarvoor in bovengenoemde studies de veranderingen zijn onderzocht.

De oorspronkelijk grondwaterstanden van de meetpunten zijn opgevraagd en voor ieder jaar met voldoende gegevens zijn de 3 hoogste en de 3 laagste standen gemiddeld overeenkomstig de berekeningswijze die voor de grondwatertrappen wordt gehanteerd (Heesen en Westerveld 1966). Verondersteld is, dat de omstandigheden voor de 4 meetpunten, die allemaal in een agrarische omgeving liggen, vergelijkbaar zijn. In dat geval is de onderlinge verhouding tussen de grondwaterstanden gelijk, tenzij er een verandering is opgetreden.
In figuur 32 zijn de cumulatieve gemiddelde laagste en hoogste standen tegen elkaar uitgezet. Trendmatige veranderingen hebben een andere helling van de relatie tot gevolg. Als van het onderzoek van Lambert (1989) wordt uitgegaan, waarin er bij B14 geen veranderingen zijn geconstateerd, kan uit figuur 32a worden afgeleid dat de GLG van meetpunt L4 vanaf 1967 ongeveer 11cm lager is. Volgens figuur 32b was de GHG in de periode 1964 - 1976 aanzienlijk lager (47 cm), maar is in de periode daarna weer hoger geworden. Uiteindelijk is de GHG 7cm lager dan in de periode tot 1964. Dit verloop komt overeen met de veranderingen die Lambert voor Vorden had berekend en die resulteerden in een uiteindelijke daling van 11 cm. Grotere veranderingen zijn bij L1 geconstateerd. Na 1980 is de GLG met 27cm gedaald (figuur 32c). Door het ontbreken van veel GHG's in de periode 1960 - 1983 is een wijziging minder evident. De GHG's van de jaren '60, '71 en '75 sluiten goed aan bij de rechtlijnige relatie vanaf 1983, zodat mogelijk vanaf 1960 de GHG een blijvende daling heeft ondergaan (figuur 32d). Vergeleken met de periode 1953-1960 zou dat een daling van 47 cm inhouden. Lambert gaf voor een meetpunt dat 2 km verder naar het oosten is gelegen een daling van 25 cm. Meetpunt L11, dat het dichtst bij de Wildenborch ligt, wordt vanaf 1972 waargenomen. Daaruit blijkt dat de GLG sinds 1980 met 16cm is gedaald (figuur 32e). De GHG keert na een daling in de periode 1972-1976 en een daarop volgende stijging vanaf 1980 terug tot het gemiddelde niveau (figuur 32f). Bij een afname van de GHG worden de hoogste vaak nog wel bereikt, maar wel incidenteler en gedurende kortere perioden (Van der Sluis, 1982).
Gedurende de meetperiode zijn de meetbuizen een aantal keren schoongemaakt, herplaatst en verplaatst. Alleen de verandering van de GHG bij L11 in 1976 valt samen met een verplaatsing van de buis.

Wanneer de veranderingen aan het onderzoek van Kooiman et al. (1993) worden geconformeerd zouden de lage standen met 19 en de hoge standen met 14 cm extra zijn gedaald. Dergelijke veranderingen sluiten niet aan bij de veranderingen die uit de eerder genoemde studies voor de omgeving van het landgoed zijn berekend.

Samengevat duiden de resultaten erop dat de GLG in het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot sinds 1980 in het zuiden met ongeveer 16 cm en in het noorden tot 27 cm is afgenomen.
Hieraan lijken geen ingrepen in het waterlopenstelsel ten grondslag te liggen. De GHG is in de periode voor 1960 enkele decimeters hoger geweest. In deze periode is de bovenloop van de Afwatering van Groenouwe aangesloten op een nieuwe leiding die aan de oostzijde van de Wildenborch is gegraven en zijn van de meeste andere waterlopen in het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot de bodems met 50 cm verlaagd. Ten oosten van het stroomgebied zijn vergelijkbare dalingen geconstateerd, maar aan de westzijde is de daling kleiner; ongeveer 1 decimeter. Deze daling is omstreeks het midden van de jaren zestig ingezet. De veranderingen kunnen niet in verband worden gebracht met de grondwaterwinningen Lochem en Dennenwater. Het pompstation Lochem onttrekt al meerdere decennia een vrij constante hoeveelheid van 2,0 tot 2,5 miljoen m^3/jaar. De grootse uitbreiding van de winning Dennenwater, van 0,3 naar 1,3 miljoen m^3/jaar, vond plaats rond 1987. Lokaal heeft de winning Lochem wel een daling van het grondwaterniveau teweeg gebracht, maar door de grote dichtheid van winningen strekt de invloed zich waarschijnlijk over grote delen van de Achterhoek uit waarbij ook de kwelflux is verminderd (Kooiman et al., 1993).

De aangegeven dalingen komen minder duidelijk tot uiting in de wijzigingen in grondwatertrappen. De grondwatertrappenkaart van Stiboka (1979) geeft de situatie voor de daling van de GLG in 1980 weer. Ondanks de afwijkende schaal is op grond van de verschillen met de actuele grondwatertrappenkaart (figuur 27) te zien dat er een verschuiving in de richting van de drogere grondwatertrappen heeft plaatsgevonden. In de onderzoeksperiode zijn de gemiddeld laagste standen echter niet bereikt. De meteorologische omstandigheden in deze periode waren dan ook allerminst representatief voor een gemiddeld jaar. Het voorjaar was relatief droog en vanaf de 2^e helft van juli was het erg nat. Het neerslagoverschot, berekend uit de neerslag in Lochem minus de referentiegewasverdamping in Hupsel (KNMI, 1993) was in de periode van 11 juli tot 1 oktober ruim 200 mm groter dan het langjarige gemiddelde.

Een geringe daling van grondwaterstanden in de loop van de tijd betekent nog niet dat geen hydrologische veranderingen zijn opgetreden. Zo kan een situatie met een grote oppervlakkige afvoer door een iets diepere ontwatering worden opgeheven. Het neerslagoverschot stroomt hierdoor niet langer over het maaiveld weg, maar wordt in de bodem geborgen (Wind, 1986). Dergelijke verschuivingen kunnen worden achterhaald via het waterkwaliteitsonderzoek.

5.6 Conclusies

Het afdekkende pakket vormt geen weerstand biedende laag van betekenis waardoor de stijghoogtes van het freatische en diepe grondwater zich aan elkaar conformeren. Kwel is alleen aantoonbaar langs ontwaterende waterlopen.

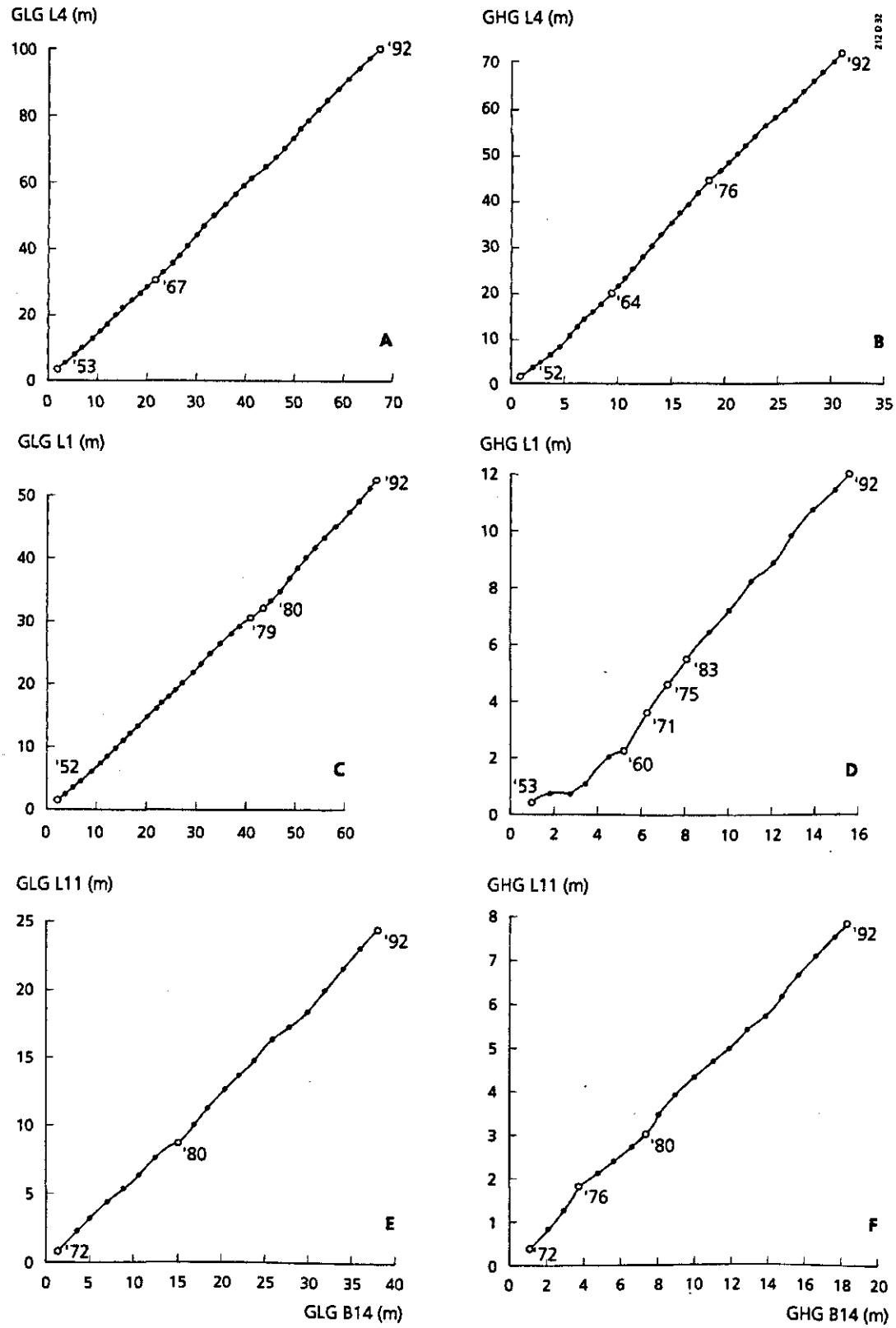


Fig. 32 Relatie tussen de cumulatieve gemiddelde grondwaterstanden.
A: GLG's van B14 en L4; B: GHG's van B14 en L4;
C: GLG's van B14 en L1; D: GHG's van B14 en L1;
E: GLG's van B14 en L11; F: GHG's van B14 en L11

De stroming van het grondwater is west tot noordwest gericht. Een gedeelte van deze stroming wordt weggevangen door de Afwatering van Groenouwe. Het belangrijkste infiltratiegebied hiervoor ligt ten zuidoosten van de Wildenborch. De kwel langs de Afwatering van het Kranengoor bestaat voor een belangrijk gedeelte uit water dat eerder in het landgoed infiltreerde.
Binnen de Wildenborch draagt het vertakte waterlopenstelsel ertoe bij dat het grondwaterniveau een groot gedeelte van het jaar vrij vlak is. Het stelsel heeft alleen bij erg hoge grondwaterstanden een ontwaterende functie.
Het landgoed ligt in een gebied met overwegend gronden op grondwatertrap III en V. Uitgevoerde ontwateringsmaatregelen hebben ertoe geleid dat de gemiddeld hoogste grondwaterstand niet meer tot aan maaiveld stijgt: Gt IIIb en Vb met een GHG tussen 25 en 40 cm. De in het landgoed aangetroffen broekeerdgronden (vWz) komen voor met grondwatertrap IIIa en behoren tot de natste gronden.
Het waterregime is in de loop der tijd regelmatig gewijzigd, maar pas vanaf 1950 zijn er betrouwbare grondwaterstandsgegevens beschikbaar. De gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden zijn met ongeveer 2 decimeter gedaald. Ten noorden en oosten van het landgoed is de daling wat groter en ten westen ervan kleiner. Er is geen direkt verband met de waterwinningen Dennenwater en Lochem.
Een lagere grondwaterstand betekent dat de berging voor met name neerslagwater groter wordt en de kwelflux zich dieper in het profiel manifesteert. Er exfiltreert geen water aan het maaiveld. Het adsorptiecomplex in de bovengrond is voor wat betreft de invloed van diep grondwater aangewezen op de capillaire nalevering. Deze is groter en komt hoger in het profiel naarmate de verdampingsvraag toeneemt en de dikte van de wortelzone dunner is. De capillaire eigenschappen van de gronden in het landgoed zijn zodanig, dat alleen tijdens droge groeiseizoenen in de bovengrond onder bossen een vochttekort kan optreden, waardoor de transpiratie van de kruidlaag zal reduceren.

6 Hydrochemie

6.1 Bewerking van de gegevens

Op 5 april en 12 augustus 1993 is het grond- en oppervlaktewater bemonsterd. Bij de bewerking van de analyseresultaten bleek dat van de eerste meetronde in veel gevallen de ionenbalans sterk negatief dan wel positief was. In deze afwijkingen bleek een systematiek te zitten, die kan worden toegeschreven aan het bicarbonaat. De belangrijkste oorzaak is de verstoring van de bodem die bij de plaatsing van de meetbuizen is opgetreden waardoor er gedurende enige tijd onjuiste concentraties worden gemeten (Jansen, 1992). Daarnaast ontsnapt er bij de grondwatermonsters CO_2 omdat het aan de atmosfeer wordt blootgesteld en bij de bemonstering een onderdruk wordt aangelegd. Daardoor verschuift het volgende evenwicht naar rechts en zal ook de zuurgraad veranderen:

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow CO_2\uparrow + H_2O \qquad (1)$$

Verder kan er bij oververzadiging met carbonaatzouten ook gebonden CO_3^{2-} zijn meebepaald waardoor de concentratie is overschat. Uitgaande van een elektroneutrale ionenbalans is een regressie afgeleid waarbij deze effecten zijn gecorrigeerd:

$$HCO_3 = 0{,}61 \cdot HCO_3(oud) + 25{,}4 \qquad (2)$$

De verklaarde variantie bedraagt 92%. De punten S6 en S15, gelegen buiten het landgoed en met extreme gehaltes zijn niet gebruikt. Na deze correctie had 92% van het aantal monsters een afwijking van de ionenbalans die kleiner is dan 15%. Dit bleken met name monsters te zijn die geen natuurlijke samenstelling hadden. De analyseresultaten van beide bemonsteringen staan in aanhangsel III.

In dit hoofdstuk wordt gesproken over verontreinigd water. Hiermee wordt bedoeld water waarvan de natuurlijke samenstelling is beïnvloed. De geanalyseerde parameters zijn er niet op gericht om uitspraken te doen over de gangbare waterkwaliteitsnormen.

6.2 Diep grondwater

Het diepe grondwater heeft hoge concentraties aan calcium, bicarbonaat en ook aan sulfaat. De hoogste sulfaatconcentraties zijn bij P5 aangetroffen, de laagste concentraties op 4 meter diepte bij P4 en bij P6. Bij dit laatste punt zijn ook de concentraties calcium en bicarbonaat het laagst. P6 ligt ten noordwesten van de Wildenborch, aan de rand van Het Groote Veld. Het is een infiltratiegebied waar de dekzandruggen voor een groot gedeelte bedekt zijn met (naald-)bossen. De scheve ionenbalans die hier was aangetroffen bleek een gevolg te zijn van hoge concentraties nitraat. Dierx (1987) geeft aan dat de toenemende hardheid van het water in deze regio voornamelijk te wijten is aan de verzurende werking van nitrificatie van organisch gebonden stikstof en van denitrificatie met behulp van in de ondergrond

voorkomend pyriet. Zuurproducerende oxydatie van pyriet door nitraat treedt pas op vanaf een pH 6,5; bij een lagere zuurgraad werkt oxydatie door nitraat juist pH-verhogend (Gaans, et al., 1992). Kwaliteitsgegevens van het diepe grondwater hebben veelal een pH hoger dan 6,5 en laten een relatief hoge hardheid en hoge sulfaat- en ijzerconcentraties zien (Dienst Grondwaterverkenning, 1972 en 1983; Provincie Gelderland, 1991). Sub-systemen zoals de Lochemer Berg vormen hier uitzonderingen op.

Om de resultaten onderling beter te kunnen vergelijken is een methodiek toegepast waarbij met behulp van het model MAIONF op basis van balans-ionen en het elektrisch geleidingsvermogen de mate van overeenkomst van de grondwatermonsters wordt berekend met 4 referentie-watertypen (Van Wirdum, 1991). De referentie-watertypen zijn representatieve monsters voor de verschillende compartimenten uit de hydrologische kringloop. Het betreft atmoclien (neerslag) water uit Witteveen in Drente, lithoclien ('gerijpt') grondwater uit een kalkarm sediment bij Hoge Duvel op de Veluwe, lithoclien grondwater uit een kalkrijk sediment bij Angeren, de gemiddelde Rijnwatersamenstelling in 1975 te Lobith en de gemiddelde samenstelling van het Noordzee-(thalassoclien) water. Rijnwater kan worden beschouwd als een verontreinigd type water. De mate van overeenkomst met zeewater en hard lithoclien water staat voor de referentiepunten in figuur 33. De referentiepunten Atm, Li-An en Rijn zijn via theoretische menglijnen met elkaar verbonden (Van Wirdum, 1991). De lijnen Atm _ Rijn en Li-An _ Rijn geven de toenemende verontreiniging van respectievelijk atmoclien en hard lithoclien water aan. De lijn Atm _ Li-An vormt het traject waarlangs water na infiltratie in een kalkrijk sediment rijpt. Het zachte lithocliene referentiepunt (Li-Du) ligt ook aan deze lijn en komt overeen met water dat uit ca. 20% neerslagwater en 80% hard lithoclien grondwater bestaat. Bij de typering van het water is onderscheid gemaakt in dominant zacht, hard en verontreinigd water (figuur 33). Bij een aandeel van minder dan 50% van een van de watertypen wordt van mengwater gesproken. Binnen het zachte, harde en mengwater vormt de 25% Rijnwaterlijn de scheiding tussen niet tot matig verontreinigd en tussen matig tot sterk verontreinigd water. De weergave van de monsters in een diagram met lijnen die mengverhoudingen tussen de referentietypen aangeven, biedt de mogelijkheid de invloed van de verontreiniging te elimineren bij de interpretatie. Uitgaande van een gradiënt tussen atmoclien en lithoclien water, kan elk verontreinigd monster in dit diagram worden herleid tot zijn oorspronkelijke positie op de menglijn tussen Atm en Li-An. Daartoe wordt het verontreinigde punt langs de 'verontreinigingslijn' naar de Atm_Li-An lijn verschoven. Het snijpunt van de lijnen geeft de oorspronkelijke, niet verontreinigde samenstelling weer.
De bestaande gegevens uit eerdergenoemde publikaties die op grond van een complete ionenbalans zijn geselecteerd blijken in een vrij breed traject te liggen (figuur 34), maar met een duidelijke concentratie bij het zachte lithocliene referentiepunt (Li-Du) en een concentratie tussen dit punt en het harde referentiepunt (Li-An). Op grond van de indeling van figuur 33 is het merendeel zacht en niet tot matig verontreinigd. Een aantal punten valt net in de categorie niet tot matig verontreinigd hard grondwater. Ook in de overige categorieën, waaronder de categorie sterk tot zeer sterk verontreinigd, vallen enkele punten.

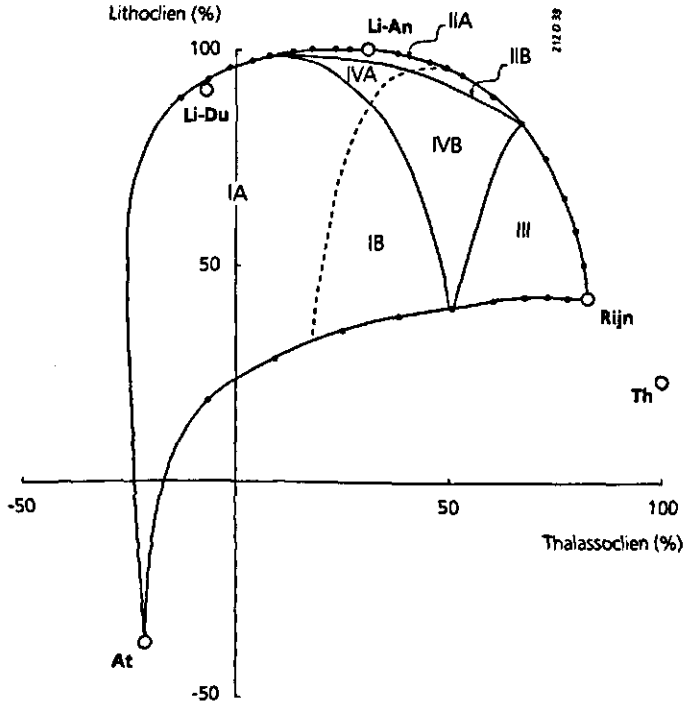


Fig. 33 Ligging van de referentiepunten en indeling in watertypen in het lithoclien-thalassoclien diagram
O : regenwater
Ia : zacht, niet tot matig verontreinigd
Ib : zacht, matig tot sterk verontreinigd
IIa : hard, niet tot matig verontreinigd
IIb : hard, matig tot sterk verontreinigd
III : sterk tot zeer sterk verontreinigd
IVa: mengwater, niet tot matig verontreinigd
IVb: mengwater, matig tot sterk verontreinigd

De berekende overeenkomsten van het grondwater van de 6 meetpunten van het primaire meetnet met de referentie-watertypen staat in tabel 1. Over het algemeen lijken de verschillen klein; een negatieve overeenkomst met atmoclien water, een erg grote overeenkomst met (hard) lithoclien grondwater en een overeenkomst van 35-60% met Rijnwater. In figuur 35 staan de resultaten conform figuur 33, maar meer in detail, per meetplek en met de diepte van het bemonsterde water. Hieruit blijkt dat bij P5 de spreiding, zowel in diepte als tussen de beide bemonsteringen klein is. De punten zijn gegroepeerd rond de Li-An referentie. P5 ligt ten zuidoosten van Wildenborch. Dit kwalitatief goede grondwater stroomt in de richting van de Wildenborch. Aan de oostzijde van de Wildenborch (P1) lijkt sprake van een lichte verontreiniging op grotere diepte. Bij de meetpunten P2 en P3 in de Wildenborch liggen de punten in het traject tussen zacht en hard grondwater. Daarbij is er geen sequentie van ondiep naar diep, iets wat bij een infiltratieflux verwacht mag worden. Blijkbaar is hier sprake van een intermediaire situatie. Bij P4 in de Wildenborch is per meetronde deze sequentie wel aangetroffen. Ook de ligging dichter bij Li-Du duidt hier wel op een overwegende infiltratieflux. Bij meetpunt P6 treedt ook infiltratie op. Daarbij is het water, zoals eerder al was aangegeven, verontreinigd.

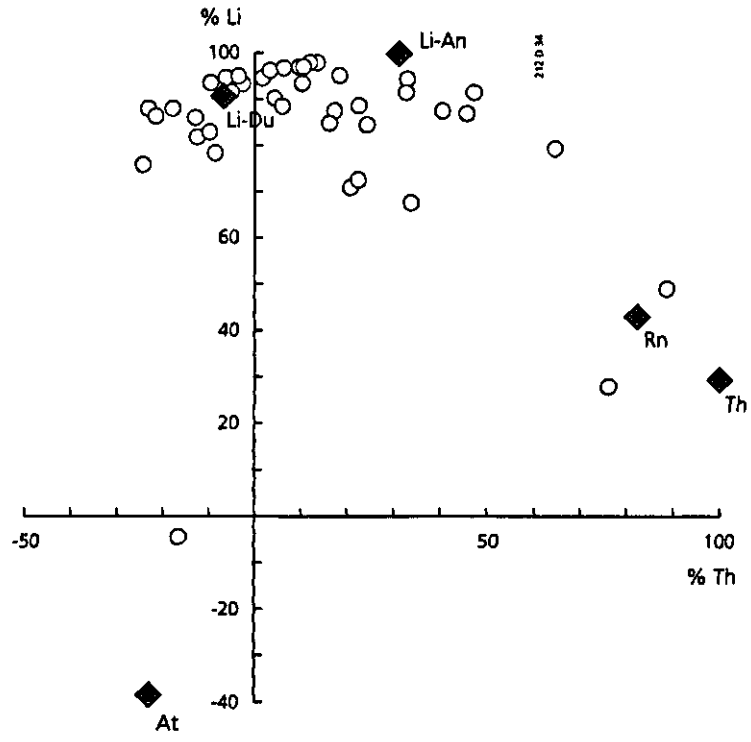


Fig. 34 Lithoclien-thalassoclien diagram van verschillende watermonsters uit de aquifer in de omgeving van de Wildenborch

Tabel 1 De mate van overeenkomst met de referenties: atmoclien water (ATM); lithoclien zacht en hard water (LI-DU en LI-AN); Rijnwater (RHLOB); thalassoclien water (THX)

	5 april					12 augustus				
Plek/ diepte	ATM %	LI-DU %	LI-AN %	RHLOB %	THX %	ATM %	LI-DU %	LI-AN %	RHLOB %	THX %
P1 4m	-41,5	80,0	95,2	58,7	47,4	-41,9	90,2	97,4	43,6	26,9
P1 7	-46,2	84,9	98,4	52,8	43,5	-46,6	92,7	99,5	39,9	25,9
P1 10	-45,9	91,9	99,4	42,3	28,0	-45,5	97,6	96,6	24,5	47,7
P2 4	-36,7	88,8	97,7	48,7	32,8	-33,0	92,0	95,8	40,8	19,1
P2 7	-39,9	91,4	97,6	39,4	22,6	-54,3	94,9	95,4	18,7	3,8
P2 10	-35,6	89,6	97,3	45,8	28,5	-38,8	92,0	96,9	36,4	19,0
P3 4	-32,8	86,7	95,8	46,5	31,1	-33,8	92,2	95,1	34,8	14,7
P3 7	-37,5	91,2	97,8	42,5	25,5	-36,7	95,4	95,5	29,7	8,1
P3 10	-44,4	91,1	98,5	41,6	27,9	-43,3	93,9	97,5	33,0	17,5
P4 4	-32,2	88,0	95,5	44,6	27,0	-35,3	92,9	94,3	27,8	9,7
P4 7	-43,3	95,0	98,7	38,0	18,9	-35,5	94,9	95,5	31,4	9,5
P4 10	-48,2	97,0	98,6	34,0	14,4	-47,5	99,0	95,5	25,4	1,5
P5 4	-36,4	86,2	97,1	51,8	37,3	-36,4	91,3	97,4	43,5	24,8
P5 7	-30,6	84,3	95,2	55,3	38,7	-27,9	84,8	93,6	49,7	37,4
P5 10	-31,8	86,8	96,1	51,5	33,9	-28,7	89,6	94,5	42,6	21,9
P5 20	-36,0	85,5	96,1	49,3	35,4	-27,1	89,5	93,3	40,4	18,5
P6 4	-31,0	86,5	91,7	65,0	38,3	-39,6	82,3	88,7	60,6	36,0
P6 7	-47,0	94,7	97,9	34,5	15,4	-38,9	79,0	82,8	33,3	11,4
P6 10	-40,7	87,4	96,0	46,4	28,6	-41,2	94,5	94,0	28,0	4,4

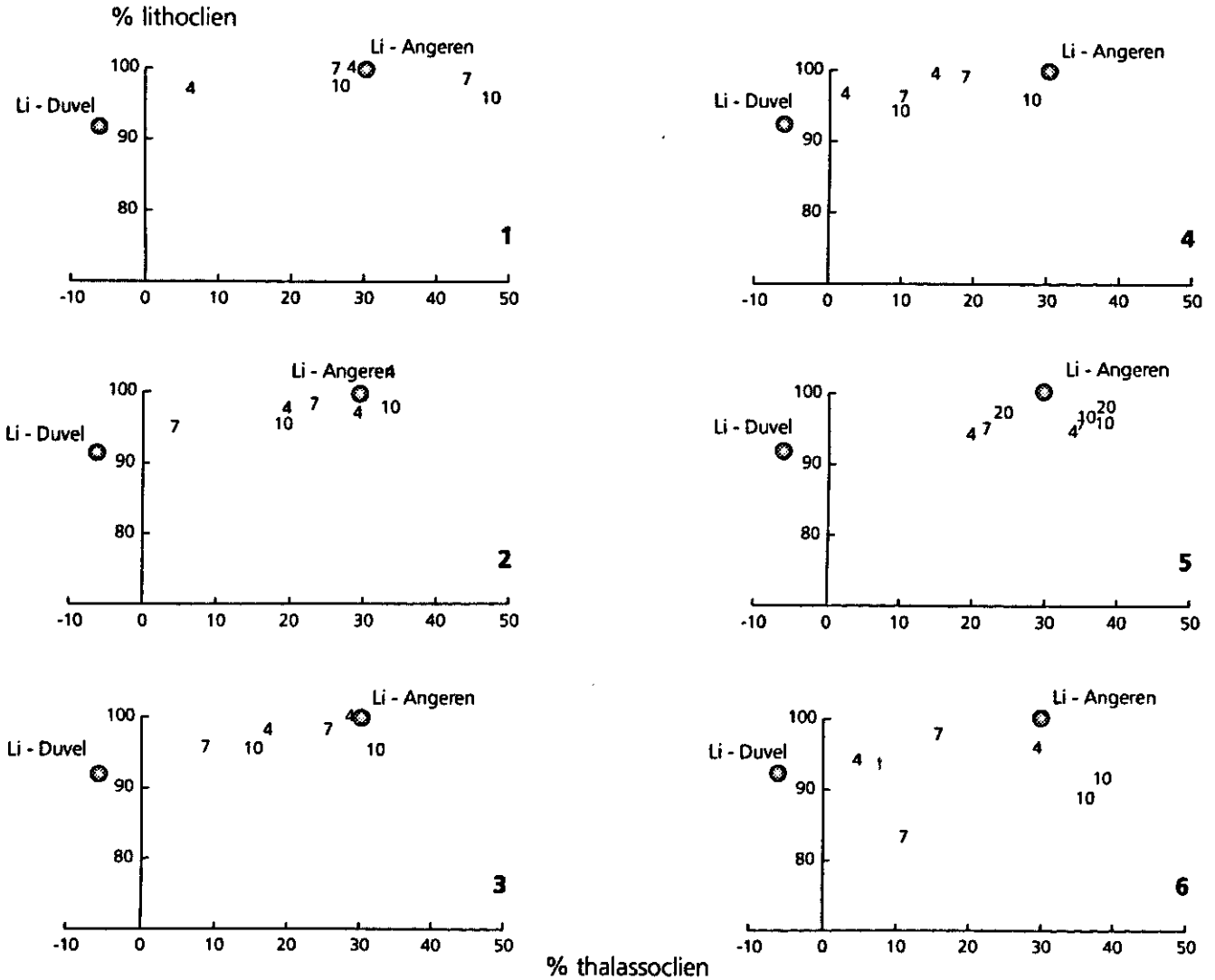


Fig. 35 Lithoclien-thalassoclien diagram van het diepe grondwater uit het primaire meetnet op 5 april en 12 augustus 1993

Resumerend kan worden gesteld dat het diepe grondwater dat vanuit het zuidoosten in de richting van de Wildenborch stroomt uit niet verontreinigd, lithoclien water bestaat. In het oosten en zuiden van het landgoed wordt het diepe grondwater beïnvloed door infiltratiewater. In het noordwesten is deze invloed verder toegenomen.

6.3 Ondiep grondwater en oppervlaktewater

6.3.1 De omgeving van het landgoed de Wildenborch

Naar verwachting treedt er een grote variatie op in de samenstelling bij de verschillende meetpunten in de agrarische omgeving. Verschillen in grondsoort, waterhuishouding, bodemgebruik en vooral bemesting zijn hiervan de belangrijkste oorzaken. De grondwaterstanden en de dieptes van het bemonsterde bovenste grondwater waren voor beide tijdstippen van bemonstering vergelijkbaar. De eerste bemonstering vond plaats tijdens een droge voorjaarsperiode, de tweede tijdens een erg natte zomerperiode. Bij de tweede meetronde zijn over het algemeen lagere concentraties gemeten wat waarschijnlijk het gevolg is van de kortere verblijftijd van het bemonsterde water.
Bij punt S6 zijn alle gemeten concentraties extreem hoog (aanhangsel III). Ook de punten S8, S10 en S15 hebben een relatief hoog geleidingsvermogen. Bij S8 vallen de hoge concentraties kalium en chloride op en bij S15 de concentraties kalium en bicarbonaat. Bij de meeste punten zijn de concentraties calcium en bicarbonaat hoog, wat duidt op de aanwezigheid van kalk. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een aanrijking via kwelwater. Bij de punten S7 en S9 is de zuurgraad relatief laag en is weinig calcium en bicarbonaat aangetroffen.
Bij enkele punten zijn hoge nitraatconcentraties aangetroffen, waarmee een meer elektroneutrale ionenbalans werd berekend. Nitraat wordt grotendeels in het ondiepe grondwater gedenitrificeerd. De hardheid van het diepere grondwater neemt daardoor toe (Grontmij, 1993).

Tabel 2 De mate van overeenkomst met de referenties: atmoclien water (ATM); lithoclien zacht en hard water (LI-DU en LI-AN); Rijnwater (RHLOB); thalassoclien water (THX).

	5 april					12 augustus					
Plek*/ diepte	ATM %	LI-DU %	LI-AN %	RHLOB %	THX %	Plek %	ATM %	LI-DU %	LI-AN %	RHLOB %	THX %
S1	-40,5	91,0	99,0	47,6	31,0						
S2	-43,7	96,0	97,8	29,7	13,0	S2B1	-38,0	94,6	94,2	26,3	5,2
S3	-38,8	94,2	86,6	8,2	-10,2	S3	-1,6	82,4	62,4	25,8	-25,7
S4B1	-42,9	90,5	98,9	46,2	30,7	S4B1	-46,7	95,7	98,2	32,7	14,5
S4	-51,6	91,9	99,7	42,1	29,5	S4	-47,7	95,6	98,6	31,9	15,6
S6	-16,6	7,8	43,2	85,3	98,1	S6	-14,7	31,2	61,1	91,1	88,1
S7B1	-44,5	95,3	94,8	26,4	,6						
S7	-1,1	53,1	50,3	20,3	-6,9	S7	17,9	32,2	21,4	8,9	-23,7
S8	-13,2	11,7	44,2	86,9	92,8	S8	-10,6	25,3	48,8	86,0	75,7
S9B1	-13,7	52,0	63,9	46,3	31,9						
S9	-13,4	51,9	61,7	43,6	27,4	S9	-18,9	33,0	48,4	45,6	37,8
S10	-30,8	68,0	88,7	73,9	65,7	S10	-34,9	75,1	92,3	66,1	57,0
S13	-49,3	93,3	97,4	33,5	19,8	S13	-35,6	75,2	83,6	43,2	27,5
S14	-50,4	96,2	93,6	24,4	6,9	S14	-51,3	95,0	98,5	38,4	21,2
S15	-59,1	63,8	84,8	53,8	61,0	S15	-58,7	72,4	90,1	56,2	54,9
S16	22,2	36,1	49,5	89,9	58,1	S16	47,7	22,7	28,7	52,7	28,5
W4	-41,9	94,1	98,8	39,6	21,4	W4	-41,2	95,7	97,1	34,1	12,6
W5	-43,2	95,4	98,7	36,0	18,0	W5	-41,3	96,7	95,9	27,5	,9
W7	-41,5	93,8	98,9	40,4	23,3	W7	-39,4	93,7	97,0	40,0	18,2
W8	-43,2	93,3	99,0	39,7	23,8	W8	-40,7	91,8	97,3	41,2	22,5
						W6	-35,2	93,1	97,4	43,3	23,2
						W9	-38,6	94,6	95,9	32,1	11,5

***) S+nummer: bovenste grondwater**
idem+B1 : grondwater op GLG-niveau
W+nummer: oppervlaktewater

De overeenkomsten met de referentiewatertypen staat in tabel 2. Er blijkt een grote verscheidenheid aan typen in het bovenste grondwater in het stroomgebied voor te komen. Bij de plekken S1 en S4 is bij beide bemonsteringen hard (kwel-)water aangetroffen. Bij S4 is ook het diepere grondwater (P1) overwegend hard. Bij S6, S8, S16 en tijdens de eerste bemonstering ook bij S10 is het water verontreinigd. Gezien de hoge natrium- en chlorideconcentraties en de situering van de plekken is dat bij S6 en S16 vermoedelijk het gevolg van strooizout. Bij de andere punten is de aanwezigheid van meststoffen aannemelijker. Het grondwater bij de plekken S7 en S9 heeft een kleinere overeenkomst met lithoclien water. S7 heeft wel een positieve overeenkomst met atmoclien water. Het diepe grondwater bij S7 (P6) indiceerde eveneens infiltratie. In tegenstelling tot het ondiepe grondwater was het diepe grondwater in zekere mate verontreinigd. Plek S7/P6 ligt aan de rand van een niet bemest perceel bij het Groote Veld. Bij plek S9 is ook het diepe grondwater bemonsterd (P5). Het harde type water dat daar tussen de 4 en 20 meter is aangetroffen blijkt niet het freatisch niveau te bereiken. De waterlopen in het stroomgebied voeren overwegend schoon, hard water af. Voor een belangrijk deel zal dit (kwel-) water een lange verblijftijd in de bodem hebben gehad.

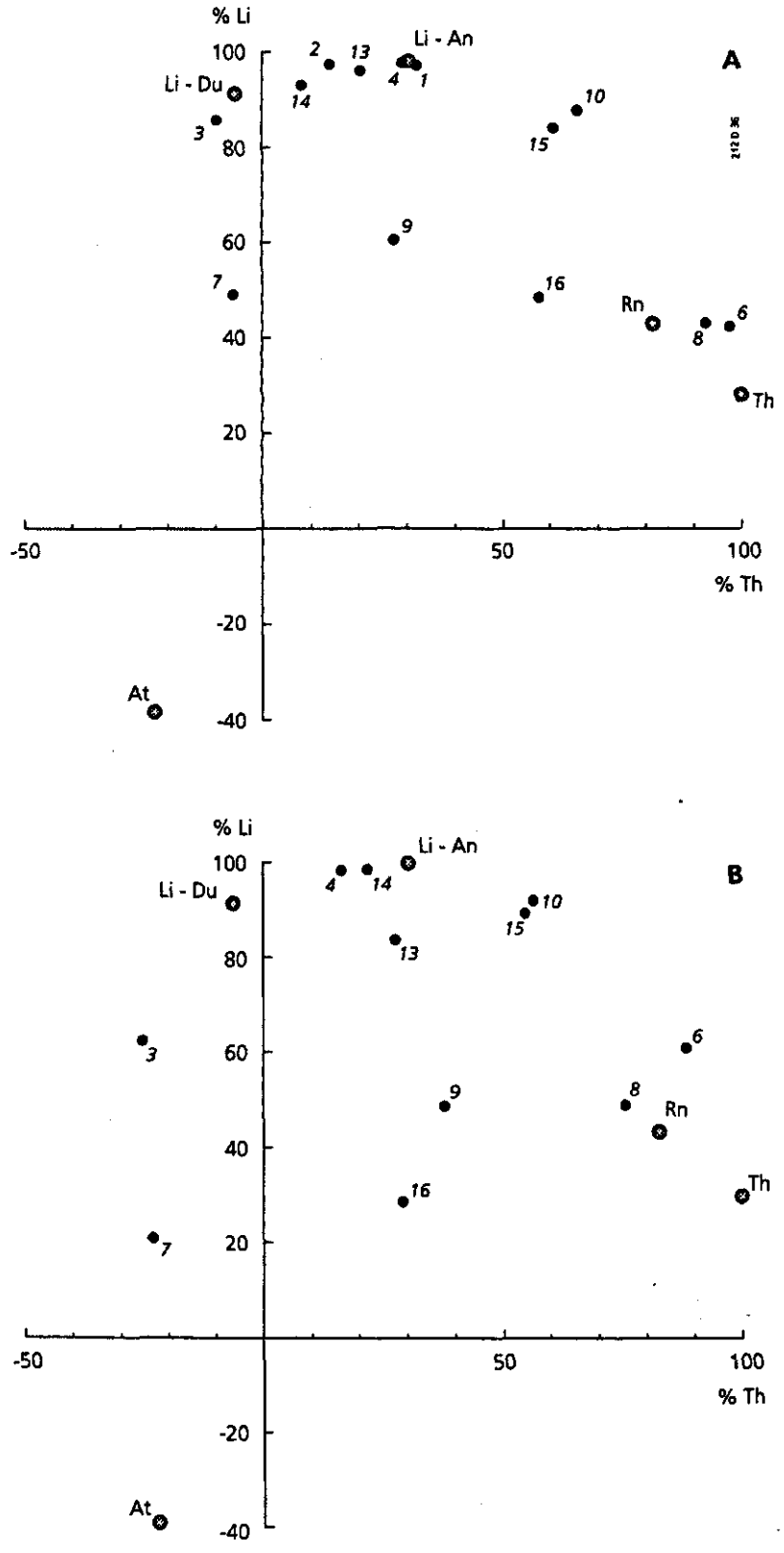


Fig. 36 Lithoclien-thalassoclien diagram van het bovenste grondwater uit het secundaire meetnet rond de Wildenborch.
A: d.d. 5 april 1993; B: d.d. 12 augustus 1993

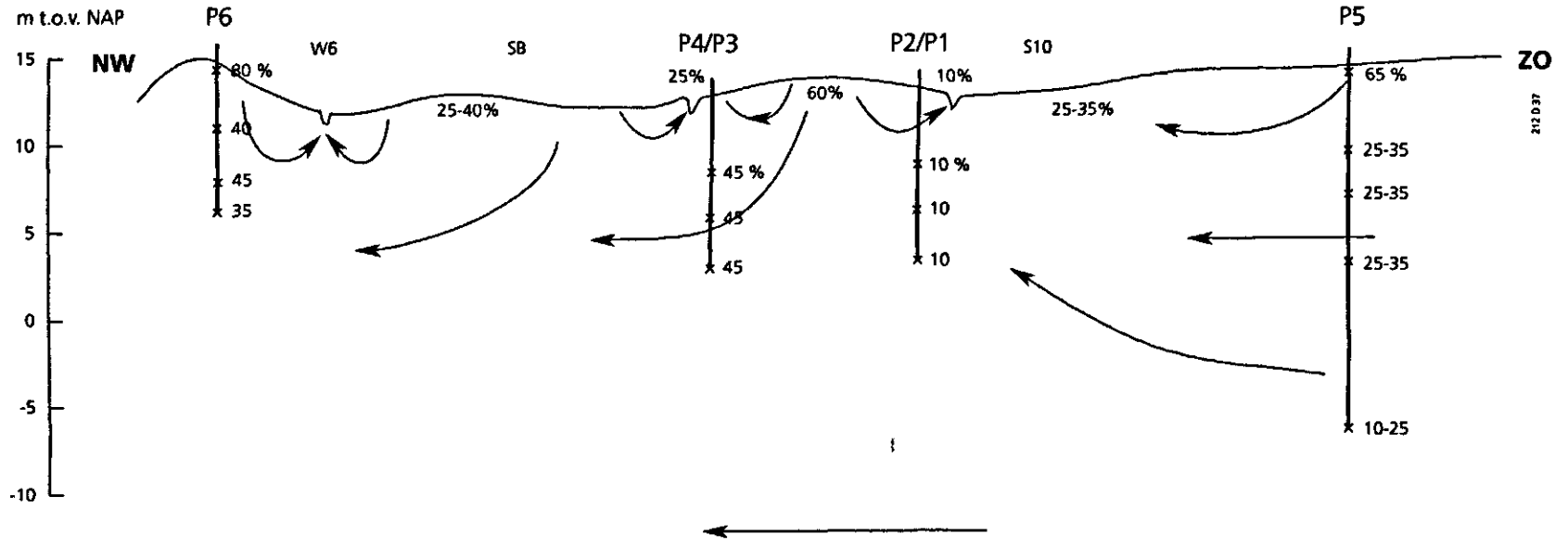


Fig. 37 Berekende aandeel van atmoclien water in het grondwater op 5 april 1993 en de daaruit afgeleide stroming van het grondwater in een doorsnede door het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot.

De resultaten van de afzonderlijke meetronden zijn ook in een thalassoclien-lithoclien diagram uitgezet (figuur 36). De punten zijn in de tweede ronde iets in de atmotrofe richting verschoven als gevolg van de grote hoeveelheid neerslag die in de weken voorafgaand aan de bemonstering is gevallen. De onderlinge posities zijn weinig veranderd. Op de lijn met een toenemende mate van rijping van het grondwater liggen de punten S3, S7, S14, S2, S13, S4 en S1. S1 is in de tweede meetronde niet bemonsterd. S13 is bij de tweede ronde wat verontreinigd. S9 en S16 kunnen volgens de indeling van figuur 33 als verontreinigd mengwater worden getypeerd. Ook S10 en S15 zijn matig tot licht verontreinigd, maar zijn van oorsprong hard. De punten S6 en S8 zijn sterk verontreinigd.

Resumerend kan worden gesteld dat het bovenste grondwater in het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot uit al dan niet verontreinigd atmoclien en lithoclien water bestaat. Lithoclien water (kwel) is aangetroffen op enkele plekken ten oosten en zuiden van de Wildenborch en in de waterlopen. Figuur 37 illustreert de samenhang met het diepe grondwater. In deze schematische zuidoost (P5) - noordwest (P6) doorsnede door het stroomgebied is op grond van het berekende aandeel atmoclien water in de eerste bemonstering de dominerende grondwaterstroming aangegeven. Het aandeel regenwater is afgeleid uit de overeenkomst met de berekeningen met MAIONF (Van Wirdum, 1991) van fictieve mengingen van zuiver atmoclien, hard lithoclien en verontreinigd water waaruit vervolgens het aandeel verontreinigd water is geëlimineerd.

6.3.2 Het landgoed de Wildenborch

Binnen het landgoed heeft het bovenste grondwater over het algemeen een samenstelling met hoge calcium- en bicarbonaatgehaltes (aanhangsel III). De enige uitzonderingen met duidelijk lagere concentraties vormen de punten S11 en S26. Concentraties chloride die hoger zijn dan op grond van indikking onder bossen verwacht mogen worden zijn aangetroffen bij S5, S12 en S28. Deze punten liggen aan de rand waar invloeden via depositie en instroming van grondwater een grotere rol spelen (Draaijers et al., 1988). Verder vallen bij de analyseresultaten de extreem hoge sulfaatconcentraties (>200mg/l) op bij S5, S17 en S28. Hier zijn ook de concentraties calcium en bicarbonaat erg hoog. Opvallend is, dat deze punten aan de oostzijde van het landgoed langs de Afwatering van Groenouwe liggen. Hoge concentraties sulfaat (100-200mg/l) zijn aangetroffen aan de westzijde langs de Afwatering van het Kranengoor. Door een sterke aanrijking met ijzerrijk kwelwater is daar waarschijnlijk pyriet is gevormd. Oxydatie door nitraat is in tegenstelling tot het landbouwgebied hier onwaarschijnlijk. Binnen het landgoed is alleen bij S11, S27 en S29 een noemenswaardige concentratie nitraat gemeten. Voor het pyriet langs de beide waterlopen is zuurstof de oxydator. Door een diepere ontwatering komt zuurstof dieper in het bodemprofiel. Bij het oxydatieproces slaat het ijzer neer als ijzeroxide of ijzerhydroxide en komt de zwavel als sulfaat in oplossing. Verzuring treedt niet op door een overmaat aan koolzuur en bicarbonaat. Punt S22 ligt ook dicht langs de Afwatering van Groenouwe, maar de sulfaatconcentratie is daar iets lager. De broekeerdgrond die daar voorkomt zal minder diep geäereerd zijn.

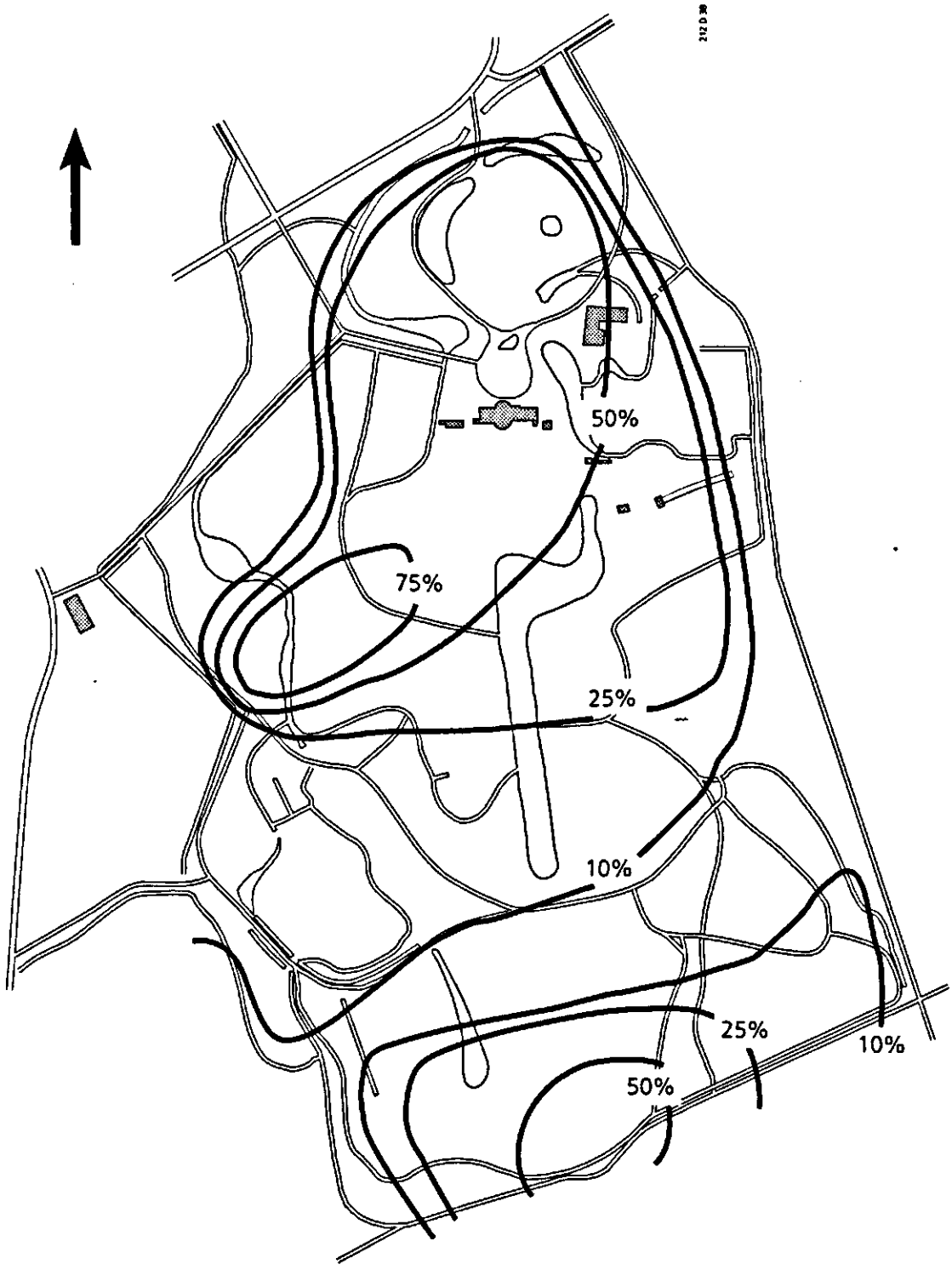


Fig. 38 Globale verspreiding van het berekende aandeel van atmoclien water in het grondwater op 5 april 1993 in de Wildenborch.

De samenstelling van het oppervlaktewater binnen het landgoed heeft, met uitzondering van kalium, wat lagere concentraties aan ionen dan dat van de aangrenzende Afwatering van Groenouwe en van het Kranengoor.

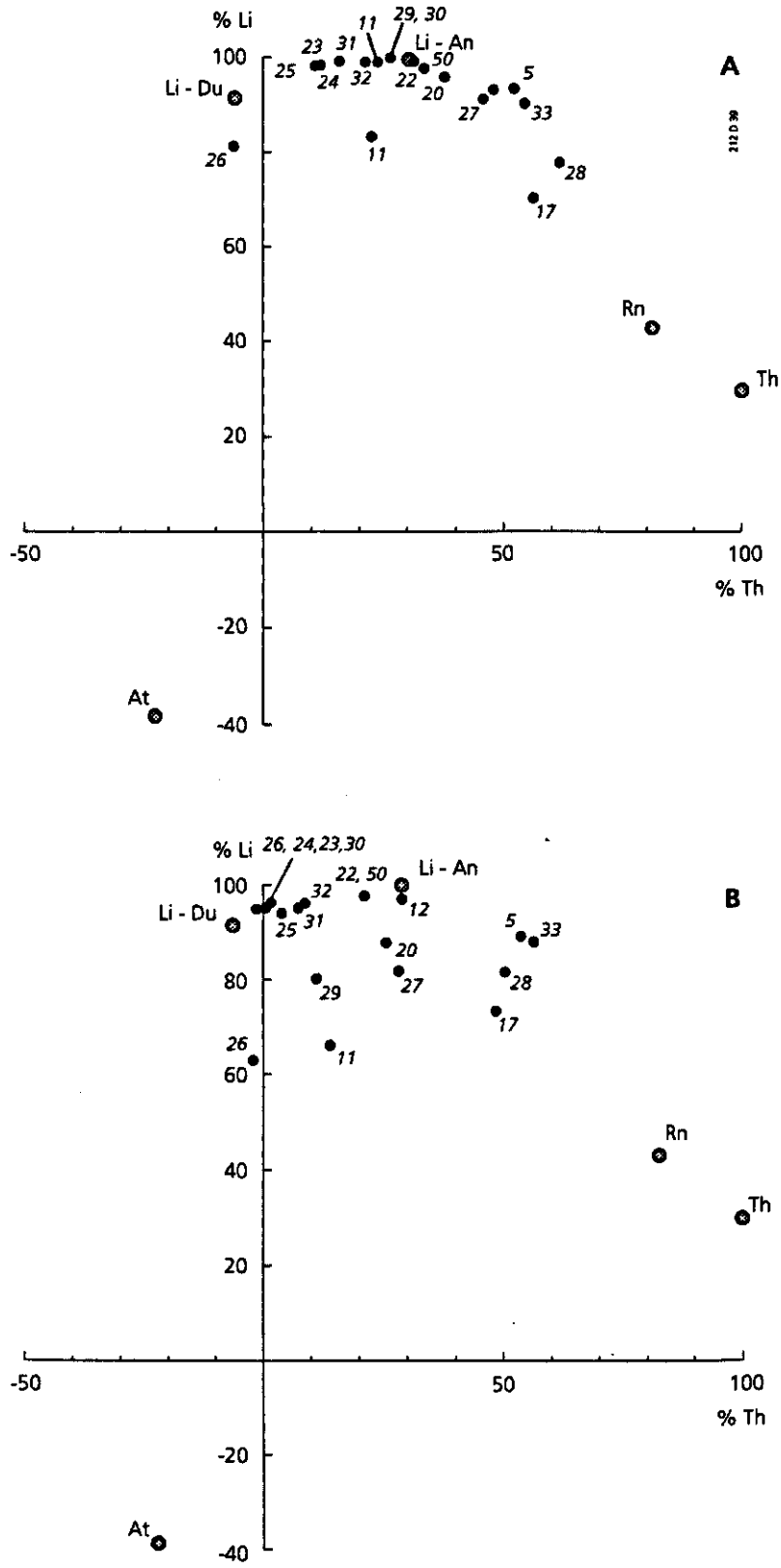


Fig. 39 Thalassoclien-lithoclien diagram van het bovenste grondwater in het landgoed de Wildenborch.
A: d.d. 5 april 1993; B: d.d. 12 augustus 1993

Conform de berekeningswijze uit 6.3.1 is van het water dat op 5 april 1993 is bemonsterd het aandeel atmoclien water berekend. In figuur 38 is daaruit een ruimtelijk beeld afgeleid. Bij de extrapolatie is uitsluitend rekening gehouden met de kwaliteitsgegevens. Figuur 38 laat zien dat het water in een strook langs de oost-, west- en noordgrens van het landgoed een klein aandeel atmoclien water bevat. Dat geldt ook voor een strook door de zuidelijke helft. Naar het centrale midden en zuiden neemt het aandeel atmoclien water toe. Op 12 augustus zijn de onderlinge verhoudingen tussen de monsterpunten vergelijkbaar, maar is het aandeel atmoclien water groter.

Tabel 3 ***De mate van overeenkomst met de referenties: atmoclien water (ATM); lithoclien zacht en hard water (LI-DU en LI-AN); Rijnwater (RHLOB); zeewater (THX).***

	5 april						12 augustus				
Plek*/ diepte	ATM %	LI-DU %	LI-AN %	RHLOB %	THX %	Plek	ATM %	LI-DU %	LI-AN %	RHLOB %	THX %
S5	-32,1	76,9	93,3	64,5	52,6	S5	-27,4	71,1	89,0	66,6	54,8
S11	-22,1	77,0	83,7	43,0	22,7	S11	-11,9	62,7	66,9	39,1	14,5
S12	-29,2	79,7	93,5	64,2	48,0	S12	-34,6	90,7	97,5	50,7	30,1
S17	-5,9	49,3	70,5	60,8	56,9	S17	-7,6	55,8	74,1	56,1	49,3
S20	-32,9	85,3	96,2	50,5	37,6	S20	-21,8	80,3	88,3	44,0	25,8
S22	-43,2	90,9	99,3	45,3	30,7	S22	-38,3	92,5	97,8	38,4	21,9
S23	-50,5	96,5	97,9	27,0	11,6	S23	-48,5	98,2	95,3	18,6	-0,2
S24	-51,6	95,4	98,7	30,1	15,6	S24	-64,1	97,6	95,6	12,8	-1,4
S25	-48,7	97,1	97,7	27,1	10,5	S25	-41,7	95,1	94,2	26,3	4,0
S26	-7,9	91,0	81,2	30,0	-6,8	S26	17,4	71,3	64,0	35,0	-1,5
S27	-28,3	77,3	91,5	62,0	45,8	S27	-14,3	75,2	82,4	51,0	26,5
S28	-12,1	57,0	78,0	72,3	62,1	S28	-13,2	65,5	82,3	65,2	51,2
S29	-47,6	92,4	99,1	40,8	26,4	S29	-27,9	77,4	80,9	34,8	11,3
S30	-49,1	92,5	99,6	41,8	26,4	S30	-45,9	98,3	95,7	21,8	1,3
S31	-47,7	93,8	99,0	36,1	20,9	S31	-38,6	95,3	95,5	27,7	,6
S32	-44,7	92,7	98,8	39,9	23,4	S32B1	-40,6	95,9	96,7	29,2	9,4
S33	-27,3	73,0	90,3	66,6	54,4	S33	-25,9	69,8	88,7	68,9	58,1
S50B1	-34,5	81,9	94,2	51,7	37,6						
S50	-37,2	87,8	97,7	46,7	33,5	S50	-40,6	92,0	97,6	40,0	21,8
W4	-41,9	94,1	98,8	39,6	21,4	W4	-41,2	95,7	97,1	34,1	12,6
W5	-43,2	95,4	98,7	36,0	18,0	W5	-41,3	96,7	95,9	27,5	,9
W7	-41,5	93,8	98,9	40,4	23,3	W7	-39,4	93,7	97,0	40,0	18,2
W8	-43,2	93,3	99,0	39,7	23,8	W8	-40,7	91,8	97,3	41,2	22,5
W12	-44,1	98,5	95,1	21,7	1,4	W12	-40,0	96,9	90,5	18,3	-8,9
W13	-42,5	97,4	97,1	29,0	8,5	W13	-39,8	96,8	91,9	21,7	-4,6
V1	-49,7	97,7	95,6	23,4	5,2	V2	-55,9	97,9	86,8	0,4	-21,7
WP2	-23,3	90,3	89,6	28,2	5,2						
WS3	-36,6	93,7	95,3	36,1	12,6						
WS23	-36,6	98,5	86,3	15,6	-13,1						

***) S+nummer: bovenste grondwater**
idem+B1 : grondwater op GLG-niveau
W+nummer: oppervlaktewater

De overeenkomst van de watermonsters met de referentiewatertypen staat in tabel 3. Van de meeste monsters is de overeenkomst met hard lithoclien grondwater meer dan 90%. De monsters met hoge sulfaatconcentraties hebben veelal een overeenkomst

van meer dan 60% met Rijnwater. Uitgezet in een thalassoclien-lithoclien diagram (figuur 39a) valt op dat de punten op 5 april op de menglijnen uit figuur 33 tussen atmoclien en lithoclien en tussen lithoclien en Rijnwater liggen. S11 en S26 vormen hier de enige uitzonderingen op. Dit zijn atmocliene watertypen met een lichte verontreiniging. Alle andere punten zijn als hard water te typeren. Hiervan liggen de punten die in het middengedeelte van het landgoed liggen over het algemeen aan de atmotrofe kant van de Li-An referentie en de punten die dichter langs de rand liggen en hoge sulfaatconcentraties hebben aan de verontreinigde kant van dit referentiepunt.

In een droge zomer treedt naar verwachting een verschuiving van de punten op in de richting van hard lithoclien water, als zich door capillaire nalevering een opwaartse flux in de verzadigde zone manifesteert. Mogelijk dat daarbij ook een lichte verschuiving in de richting van verontreinigd water plaatsvindt doordat het water indikt als gevolg van het verdampingsoverschot. Op 12 augustus zijn veel punten in het landgoed echter naar de atmotrofe kant verschoven. Door de grote hoeveelheid neerslag heeft op de meeste plekken een verdunning van het bovenste grondwater plaatsgevonden (figuur 39b). Hoewel meestal nog steeds sprake is van een lithoclien grondwater, is alleen in het noorden bij S5 en op de plek waar de bodem is afgedekt met een kleilaagje, S33, de positie niet gewijzigd. Daar is blijkbaar de buffercapaciteit van de bovengrond nog dermate groot dat een constante lithocliene samenstelling gerealiseerd kan worden. Een kleine verschuiving is opgetreden bij de punten die langs de Afwatering van Groenouwe liggen en bij de punten die al een meer atmotrofe samenstelling hadden. De grootste verschuiving heeft plaatsgevonden bij de punten S27, S29 en S30.

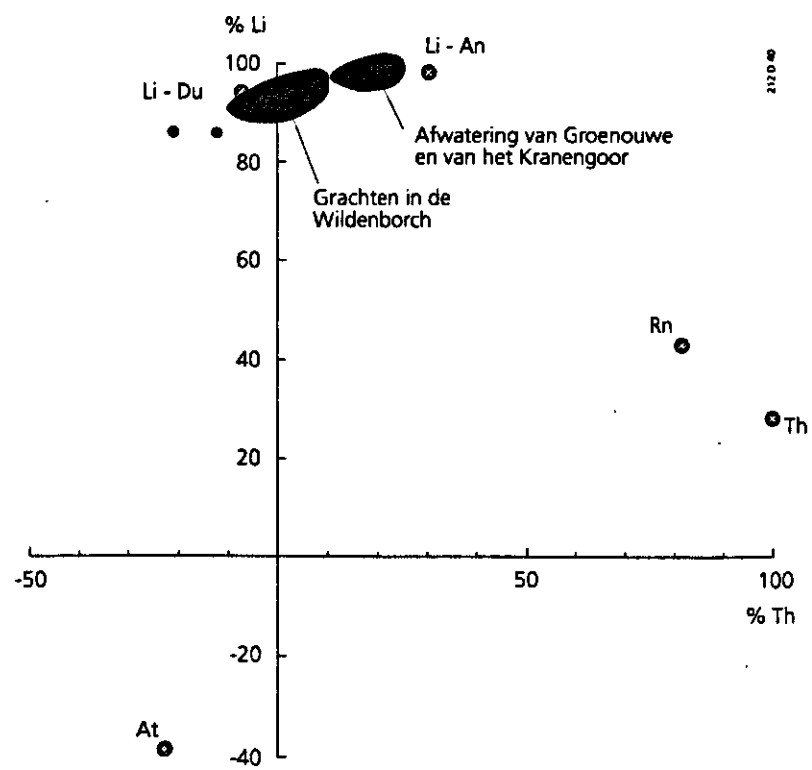


Fig. 40 Thalassoclien-lithoclien diagram van het oppervlaktewater in het landgoed de Wildenborch

De punten van het oppervlaktewater van beide bemonsteringen zijn in figuur 40 samengevoegd omdat de verschillen erg klein waren. De waterlopen en grachten in het landgoed hebben een vergelijkbare samenstelling, dicht bij het zachte lithocliene referentiepunt. Watermonsters uit ondiepe greppels hebben hier de laagste overeenkomst mee. Het water in de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor hebben een duidelijk hardere samenstelling. Onderling en ook langs het landgoed is de samenstelling nagenoeg gelijk. Beide waterlopen voeren overwegend schoon kwelwater. Dat kan gezien worden als een lokaal verrijkingsproces. De verdere verrijking met calcium zoals met name in het bovenste grondwater langs de randen van het landgoed is geconstateerd, is het gevolg van het in oplossing komen van calcium uit de in het landgoed ondiep (< 1,2 m beneden maaiveld) voorkomende kalkrijke afzettingen. Dit proces hangt samen met de input van zuren, waardoor kalkzouten oplossen. De evenwichtssituatie van waterstof-, calcium en bicarbonaat-ionen kan worden beschreven worden als (Bolt en Bruggenwert, 1976):

$$\log [Ca^{2+} + \log [HCO_3^-] - \log[H^+] = 1{,}98 \qquad (3)$$

Bij een oververzadiging mag calcietprecipitatie (CaCO3) verwacht worden dat bij verzuring verweert (Kemmers en Jansen, 1985). Van het bovenste grondwater is het grondwater alleen bij de punten S11 en S26 onderverzadigd.

Resumerend kan worden gesteld dat de Wildenborch overwegend een infiltratiegebied is. Op de meeste plaatsen heeft het bovenste grondwater nog steeds een lithoclien karakter dankzij de buffervoorraad die in het verleden is opgebouwd. Langs de oost- en westrand van het landgoed is als gevolg van de diepe ontwatering pyriet gaan oxyderen waardoor het bovenste grondwater een erg harde, met sulfaat verontreinigde samenstelling heeft gekregen.

6.4 Conclusies

In het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot is zowel kwel aangetroffen als infiltratie. Kwel manifesteert zich vooral langs de oost- en zuidzijde van het landgoed. Ten zuidoosten van de Wildenborch komt kwalitatief goed diep grondwater voor dat in de richting van de Wildenborch stroomt. Het bovenste grondwater heeft in het tussenliggende traject echter een enigzins verontreinigde samenstelling.
In de Wildenborch komt lithoclien water tot hoog in het profiel voor. Dit hangt waarschijnlijk niet meer samen met de regionale kwel vanuit het zuidoosten, die door de Afwatering van Groenouwe wordt afgevangen. In 1960 heeft deze waterloop zijn huidige ligging en diepte gekregen. Veeleer hangt de aanwezigheid van litoclien water samen met infiltratie van (zuur) regenwater in ondiep voorkomende kalkrijke afzettingen die onder de Wildenborch voorkomen. De overwegende infiltratie flux wordt verrijkt met calciumcarbonaat dat in oplossing komt door verwering van calciet. Bij S5 en S33 treedt een snelste uitwisseling op en bij S11 en S26 is de buffer-capaciteit ontoereikend.
Als gevolg van de diepere ontwatering treedt langs de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor ook pyrietoxydatie op waardoor het bovenste grondwater niet

alleen een hoge hardheid heeft, maar ook erg hoge concentraties sulfaat.
Het water dat via de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor wordt afgevoerd bestaat overwegend uit schoon kwelwater, in tegenstelling tot het water in de waterlopen en grachten in het landgoed dat een wat meer atmocliene samenstelling heeft.

7 Synthese

7.1 Samenhang tussen bodem, humus en waterkwantiteit en waterkwaliteit

De samenhang tussen de regionale grondwaterstroming en de waterkwaliteit staat schematisch in een doorsnede aangegeven in figuur 41. Het water dat bovenstrooms ten zuidoosten van het landgoed infiltreert heeft een atmocliene, (licht) verontreinigde samenstelling. In buis P5 verloopt de samenstelling van de filters van een regenwater-aandeel van ca. 65 % nabij het maaiveld tot 10 à 25 % in de ondergrond. Het verontreinigde water dringt niet tot grotere diepte door maar wordt via ondiepe grondwaterstroming afgevoerd naar het slotenstelsel. Via horizontale stroming wordt schoon, hard grondwater vanuit het zuidoosten aangevoerd naar de Wildenborch. In alle filters van buis P2 wordt schoon hard grondwater, met enige bijmenging van maximaal 10 % regenwater aangetroffen. Direct ten zuidoosten van het landgoed ligt een kwelgebied, waarbij aan de oppervlakte sprake is van verontreiniging. De Afwatering van Groenouwe vangt een belangrijk gedeelte van deze kwel af.

De Wildenborch zelf fungeert als infiltratiegebied. In het landgoed komt dit plaatselijk tot uiting in de samenstelling van het freatische grondwater die duidt op een aandeel van meer dan 60% regenwater. De filters van buis P4 geven tot op grote diepte een samenstelling van het water te zien, die wijst op een aandeel van ca. 45 % regenwater. Een deel van dit water komt via een diepere grondwaterstroming in de Afwatering van het Kranengoor terecht. Verder naar het noordwesten ligt het Groote Veld, waar overwegend infiltratie optreedt. In buis P6 treedt een verloop op in de watersamenstelling van ca. 80% regenwater aan het maaiveld tot ca. 35% op grotere diepte. Dit water, dat in zekere mate verontreinigd is, dringt tot grotere diepte door.

Hoewel in de Wildenborch infiltratie overheerst, heeft het grondwater op veel plaatsen een duidelijk lithoclien karakter. Dit is het gevolg van het voorkomen van kalkrijk moedermateriaal op geringe diepte in de ondergrond. Dankzij deze buffervoorraad kalk in de bodem neemt het water na infiltratie door dit materiaal op veel plaatsen een lithocliene samenstelling aan. De kalkrijke ondergrond kan samenhangen met de aanvoer van calciumbicarbonaat via kwelstromen in een periode voorafgaand aan de hydrologische ingrepen rond de Wildenborch. Uit dit calciumbicarbonaatrijke water kan secundair kalk neerslaan in de bodem op de grens van de geoxideerde en de gereduceerde zone. In een situatie met capillaire opstijging van kwelwater tot in het maaiveld, kan transport van basische kationen zijn opgetreden naar het maaiveld, waardoor het humuscompartiment een hoge calciumverzadiging zal hebben gekend. De bodemkundige situatie met het over een grote oppervlakte voorkomen van beekeerdgronden bevestigt deze veronderstelling. Beekeerdgronden ontwikkelen zich onder basenrijke omstandigheden, waarbij strooiselafbraak optimaal verloopt en stabiele humus in gehomogeniseerde vorm met de minerale bovengrond voorkomt (eerdlaag).

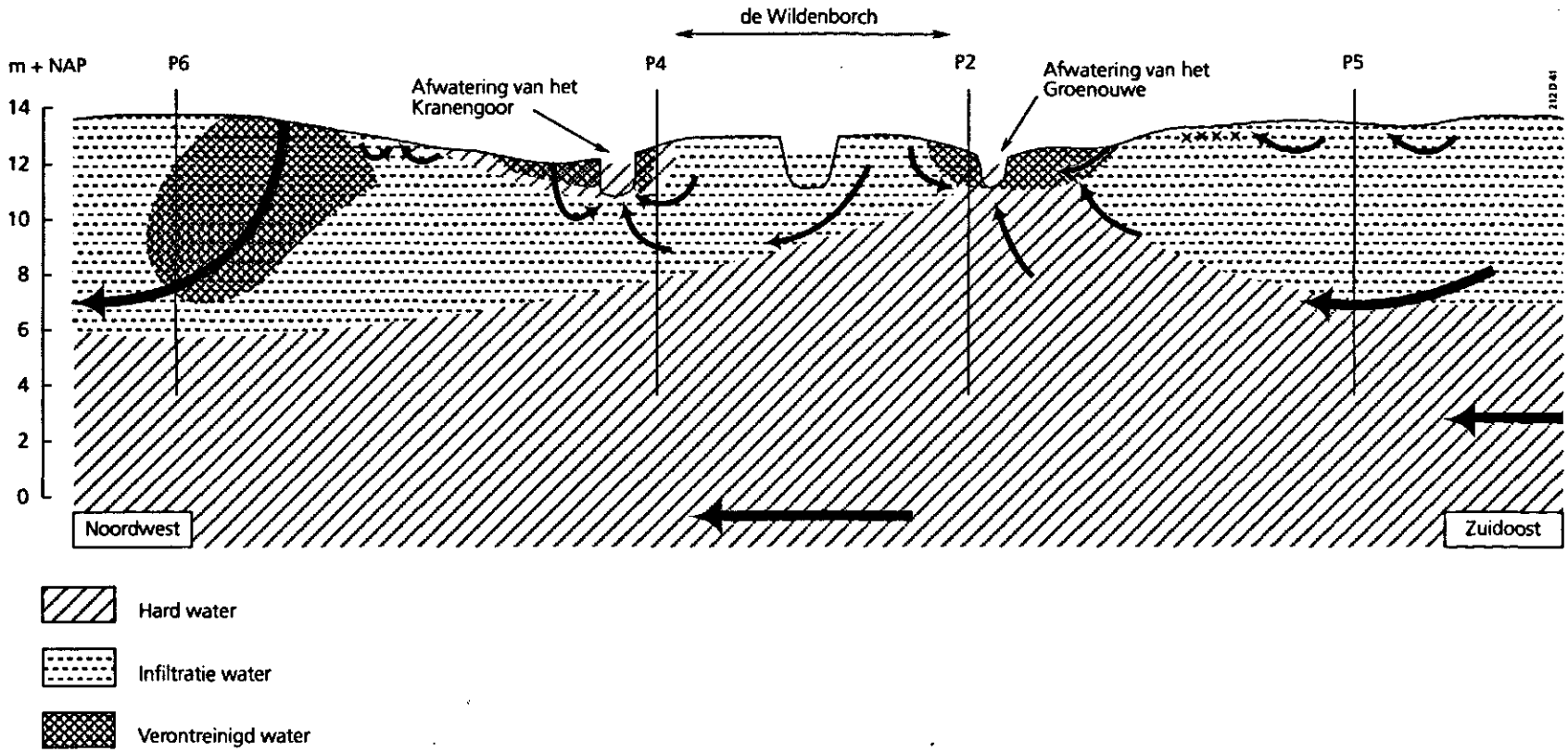


Fig. 41 Samenhang tussen de regionale grondwaterstroming en waterkwaliteit en de positie van de Wildenborch

De huidige, overheersende invloed van infiltratie komt tevens tot uiting in morfologische kenmerken van het humusprofiel, die samenhangen met de basenstatus van het humuscompartiment. Op een aantal plaatsen wordt boven op de gehomogeniseerde eerdlaag, een ecto-organisch humusprofiel aangetroffen. Dit wijst op stapeling van strooisel als gevolg van slechte condities voor afbraak van strooisel. Op deze plaatsen blijkt de basenstatus extreem laag te zijn. Deze situatie wijst op uitspoeling van basische kationen bij een dominantie van een neerwaartse vochtstroom. Dit verlies van basische kationen heeft geleid tot een sterke verzuring van de eerdlaag. Met de accumulatie van strooisel wordt hier ook de nutriëntenkringloop geblokkeerd. Dit leidt tot een verminderde beschikbaarheid van stikstof en fosfor, in een situatie waar deze beschikbaarheid oorspronkelijk groot was. In het oorspronkelijke voedselrijke, neutrale ecosysteem is een ontwikkeling gaande naar een zuur voedselarm milieu. Naar verwachting zal de soortensamenstelling van het ecosysteem zich bij deze ontwikkeling aanpassen.

De snelheid waarmee de verzuring verloopt is afhankelijk van de buffercapaciteit van de bodem tegen verzuring. Deze buffercapaciteit is groter naarmate het kationenadsorptiecomplex groter is. Daar deze capaciteit afhangt van o.a. de voorraad organische stof in de bodem, zal de buffercapaciteit tegen verzuring het grootst zijn in gronden met veel organische stof, zoals de beekeerdgronden met een cultuurdek in het centrale gedeelte van het landgoed rond het kasteel. Op deze plaatsen is de verzuring het sterkst gebufferd. De basenstatus is hier nog niet zo sterk teruggelopen dat condities voor strooiselafbraak ongunstig zijn geworden. Strooiselaccumulatie is hier nog niet opgetreden.

In figuur 42 is een reconstructie gemaakt van de ontwikkeling van het ecohydrologisch systeem rond de Wildenborch sinds de periode voor de aanleg van het landgoed.

Op basis van bovenstaande synthese kunnen in het landgoed de volgende gebieden worden onderscheiden (figuur 43):

A1. De strook langs de Afwatering van Groenouwe. Door de aanleg van de Groenouwe zijn de grondwaterstanden hier het meest gedaald. Dieper in de ondergrond is nog hard, lithoclien water aanwezig dat wordt weggevangen door de Afwatering van Groenouwe (figuur 40). Als gevolg van de verlaagde drainagebasis is de aëratie toegenomen, waardoor pyriet (FeS) oxideert. Door de protonen die vrijkomen verweert calciet ($CaCO_3$). Het bovenste grondwater heeft daardoor een erg harde, met sulfaat verontreinigde samenstelling. Het voorkomen van pyriet in deze zone wijst op de aanvoer in het verleden van sterk gereduceerd water uit het regionale systeem. Het voorkomen van pyriet in zandgronden staat bekend als kattezand.

A2. De strook langs de Afwatering van het Kranengoor. De processen die zich hier afspelen zijn vergelijkbaar met gebied A1. Doordat de kwelcomponent hier minder groot is en uit water bestaat met een minder lange verblijftijd (figuur 40) zijn de processen en ook de concentraties minder extreem. De atmosferische depositie is aan de westzijde van het landgoed het grootst.

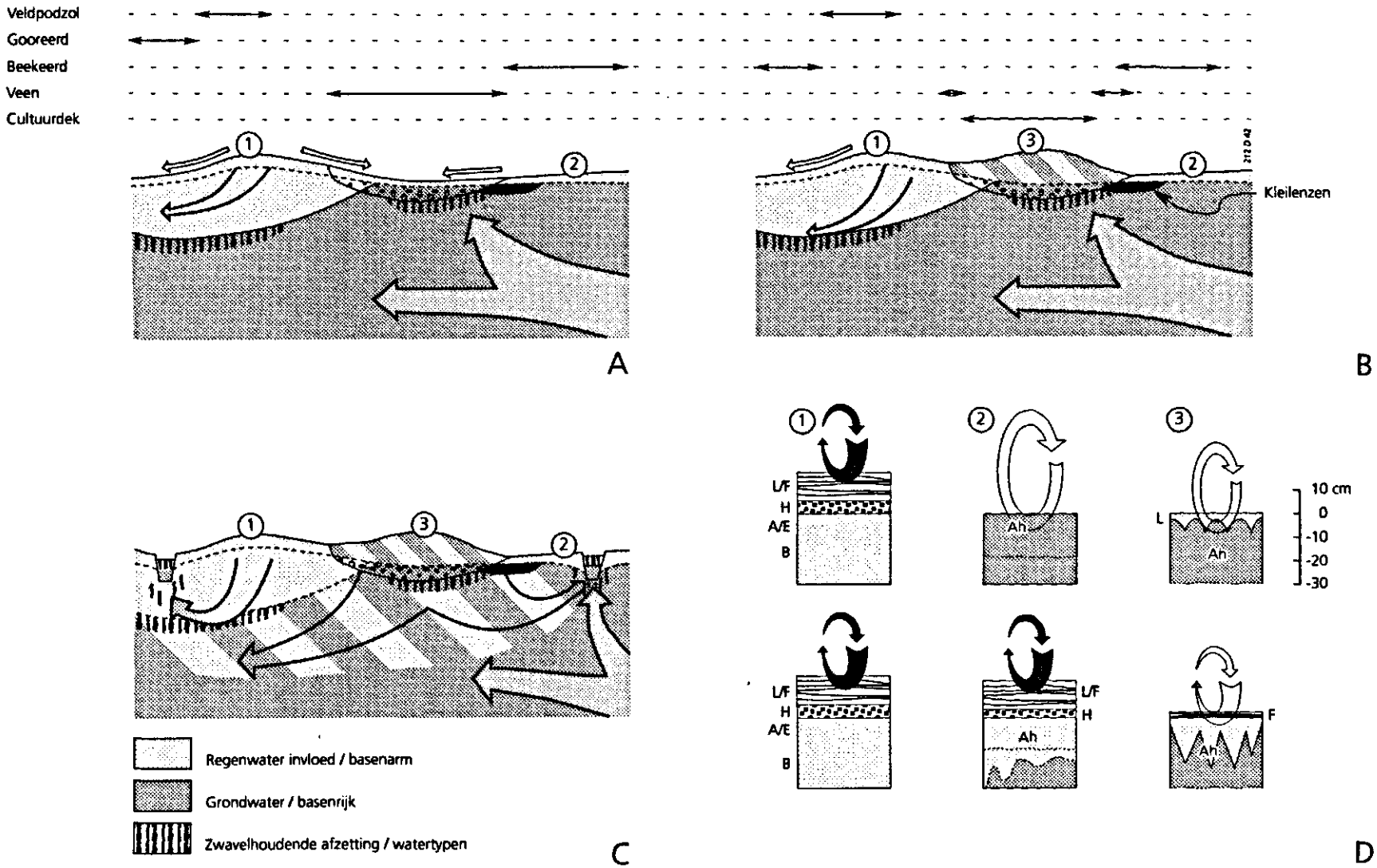


Fig. 42 Synthese van het ecohydrologisch systeem rond de Wildenborch in verschillende perioden van de ontstaansgeschiedenis. a) Voor de aanleg van het landgoed; b) Na ophoging met en cultuurdek; c) Na ontwatering van de omgeving; d) Ontwikkeling van humusprofielen en veranderingen in nutriëntenkringlopen op verschillende plaatsen binnen het landgoed (nummers verwijzen naar de plaatsen).

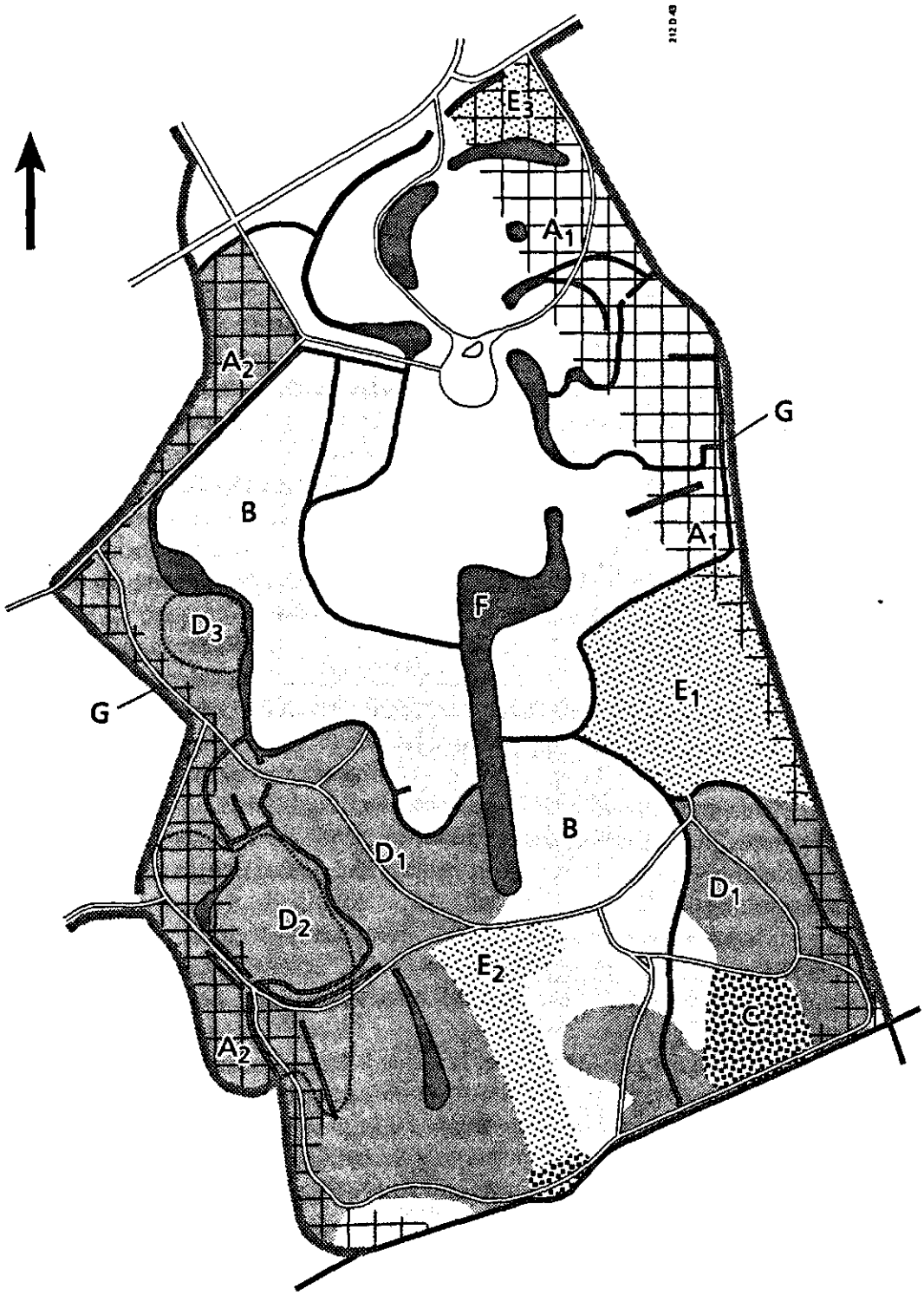


Fig. 43 Delen van de Wildenborch met een vergelijkbare status.

B. De gronden met een cultuurdek. Door het opbrengen van het cultuurdek is hier maaiveldverhoging opgetreden, waarbij grondwaterstanden nog maar zelden tot aan het maaiveld kwamen. Deze maaiveldverhoging, in een periode ver voor de belangrijkste hydrologische veranderingen in de regio, heeft waarschijnlijk niet verhinderd dat basische kationen vanuit het onderliggende grondwater het

maaiveld bereikten. Het cultuurdek heeft hierdoor in oorsprong waarschijnlijk een goede basenstatus gehad. Als gevolg van een verlaging van de drainage basis in de omgeving, wordt recent het neerslagoverschot volledig in de bovengrond geborgen. De humeuze bovengrond, die in het verleden mogelijk ook bemest is, heeft een grote buffercapaciteit tegen verzuring. Het ondiepe grondwater heeft een dominante invloed van regenwater maar heeft ook een enigszins zacht lithoclien karakter.

C. De van oorsprong hogere delen, waarin zich een veldpodzolgrond heeft ontwikkeld. Ook vóór de verlaging van de grondwaterstand was de bovengrond al uitgespoeld en basenarm. Het bovenste grondwater heeft een atmocliene samenstelling. Vergelijkbaar met dit gebiedstype zijn de plaatselijke kunstmatige ophogingen waarvoor in het verleden mineraal zand is gebruikt.

D1. Plekken met matig natte beekeerdgronden en venige gronden. Oorspronkelijk waren dit de natte gronden waar kwelinvloeden tot hoog in het bodemprofiel reikten. Met de daling van de grondwaterstanden wordt het neerslagoverschot volledig in het profiel geborgen. Het bovenste grondwater is zacht lithoclien. De humeuze bovengrond is sterk verzuurd. Accumulatie van strooisel wijst op een geblokkeerde nutriëntenkringloop.

D2. Als D1, maar met een kleidek. Hoewel ook kleibestanddelen bijdragen aan het kationenadsorptiecomplex, is hun aandeel kleiner dan dat van de organische stof zoals bij de cultuurdekken. De buffercapaciteit van de bovengrond is volledig verbruikt waardoor verzuring en strooiselaccumulatie zijn opgetreden.

D3. Als D1, maar waar de bovengrond al zodanig is uitgespoeld, dat het bovenste grondwater al een meer atmotrofe samenstelling heeft.

E1. Een graslandperceel met een moerige bovengrond waar het bovenste grondwater, dat tot aan het maaiveld reikt, een zacht lithocliene, min of meer natuurlijke samenstelling heeft.

E2. Een matig nat graslandperceel met zacht lithoclien tot meer atmoclien grondwater.

E3. Een graslandperceel met een relatief grote invloed van lithoclien water in de bovengrond.

F. De waterlopen en grachten in het landgoed. Deze worden gevoed met ondiep grondwater uit het landgoed en hebben daardoor een zacht lithocliene samenstelling. Er wordt nauwelijks water afgevoerd. Het peil is nauw gecorreleerd aan het grondwaterniveau in het landgoed.

G. De Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor. In de winterperiode werken deze sterk drainerend op de directe omgeving. In de samenstelling van het afgevoerde water domineert water met de oorspronkelijke (harde) kwelkwaliteit .

7.2 Mogelijkheden voor natuurontwikkeling

Met de stapeling van strooisel die het gevolg is van de verzuring van de bovengrond, is een proces in gang gezet dat ook na het herstellen van de oorspronkelijke bodemcondities niet onmiddellijk zal kunnen worden teruggebogen. Hoewel de redoxstatus en de basenbezetting aan het adsorptiecomplex, cq. de hydrochemische

condities mogelijk weer snel zullen herstellen, zal het effect van versnelde afbraak van de voorraad organische stof nog enige tijd naijlen. De versnelde afbraak leidt mogelijk tot een explosie van stikstofminnende plantesoorten.

Om tot meer oorspronkelijk bodemcondities te komen zal de depositie van verzurende stoffen en de instroom van verontreinigd grondwater moeten worden teruggebracht en zal de drainagebasis, zowel in de zomer als in de winter, met enkele decimeters moeten worden verhoogd. Om de depositie te verminderen en de instroom van verontreinigd grondwater tegen te gaan zijn maatregelen nodig die buiten het bereik van lokale ingrepen vallen. Slechts lokale ingrepen kunnen in het kader van herstel in beschouwing worden genomen.

Een lokale verhoging van de drainagebasis in de zomerperiode zal weinig effect opleveren. Afgezien van het feit dat de waterlopen dan geen ontwaterende functie hebben en meestal zelfs droog staan, is hiervan weinig te verwachten omdat het grondwaterniveau sterk afhankelijk is van de stijghoogte in het diepe grondwater. De verticale weerstand in het afdekkend pakket is immers gering. Het stijghoogte-verloop in de ondergrond wordt juist door regionale omstandigheden bepaald. In de winter wordt het gebied het sterkst ontwaterd. Lokaal gezien wordt de onderrand van dit niveau bepaald door het peil in de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor. Door dit peil kunstmatig te verhogen of de bodem te verontdiepen kan de drainagediepte worden verkleind. De Afwatering van Groenouwe heeft langs het landgoed momenteel een bodemhoogte die 20-30cm hoger is dan de ontwerpdiepte van 10,95-10,75 m +NAP (Waterschap van de Berkel, niet gepubl.). Op de laagste plek, het oostelijke graslandje en het aangrenzende landbouwgebied, heeft het maaiveld een hoogte van ca. 12,00 m +NAP. De huidige bodemhoogte van de Afwatering van het Kranengoor is 20-15cm hoger dan de ontwerpdiepte van 11,20-10,70 m +NAP. Het bovenstroomse gedeelte heeft het grootste verval. Het laagste aangrenzende gedeelte in het landgoed ligt in het noordwesten en bedraagt 12,30 m +NAP. In het landbouwgebied komen op meerdere plekken maaiveldhoogtes van 12,10-12,20 m +NAP voor.

De belangrijkste gevolgen van het verhogen van het drainageniveau in de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor zullen zijn:
- een stijging van het grondwaterniveau; het sterkst langs de Afwateringen. De geaëreerde zone waarin verzurende processen plaatsvinden wordt teruggedrongen op de laagste delen van het landgoed;
- afhankelijk van de mate van grondwaterstandsverhoging zal een afname van de kwel langs de waterlopen optreden of zelfs mogelijk een (grotere) infiltratie;
- een grotere kans op oppervlakkige afvoer van een gedeelte van het neerslag-overschot. Hierdoor treedt een verschuiving op in de waterbalans van berging naar oppervlakkige afvoer. De infiltratieflux zal hierdoor afnemen, waardoor de uitspoeling van basen uit het humuscompartiment afneemt;
- een langere verblijftijd van het ondiepe grondwater;
- een geringere afvoer via de Afwateringen van met name het diepere grondwater;
- een toename van de horizontale grondwaterstroming vanuit het zuidoosten doordat de Afwatering van Groenouwe minder water afvangt.

De gevolgen zullen overwegend een positieve uitwerking hebben op basenstatus van de bodem in het landgoed. De afname van de kwel in en direct langs de Afwateringen van Groenouwe en het Kranengoor kan gezien worden als een nadeel. Een toename van de (ondiepe) horizontale grondwaterstroming vanuit het zuidoosten is uit kwalitatief oogpunt niet wenselijk. Het milieu voor de kwelindicatoren in de Afwateringen zal in negatieve zin wijzigen.

Om aan deze nadelen tegemoet te komen kan aan de Afwatering van Groenouwe toch een zekere ontwaterende functie worden toebedacht om een gedeelte van de horizontale stroming af te vangen. Daarnaast valt te overwegen om de grachten en waterlopen in het landgoed een ontwaterende functie te geven. Hiermee krijgt het een oorspronkelijke functie terug. In de samenstelling van het water zal het aandeel diep grondwater toenemen en mogelijk een milieu worden hersteld waarbij het 'bruidskleed (Waterviolier) dat de Wildenborch toebehoort' (Zuurdeeg, 1991), terugkeert.

Ter illustratie zijn in figuur 44 de stroombanen in een doorsnede berekend voor een situatie waarbij de Afwatering van Groenouwe een peil heeft van 11,45 m +NAP en de Afwatering van het Kranengoor en de waterlopen in het landgoed eenzelfde peil hebben van 11.40 m +NAP. Dit betekent, ten opzichte van april, een verhoging van het peil in de beide Afwateringen met 10 tot 15 cm en een verlaging van het peil in de Wildenborch met ca. 20 cm. In deze situatie vangt de Afwatering van Groenouwe nog een deel van de horizontale grondwaterstroming af en heeft de Afwatering van het Kranengoor de ontwaterende functie goeddeels verloren. De grote, centraal gelegen vijver wordt gevoed met een belangrijk aandeel dieper grondwater en gebiedseigen water dat tot grotere diepte is geïnfiltreerd en een lange verblijftijd achter de rug heeft. Een nadeel is dat de grondwaterstand in de Wildenborch wat daalt en er meer regenwater geborgen kan worden. Daartegenover staat dat een gedeelte van het afgevoerde water uit neerslag en atmoclien grondwater bestaat. Voor een kwantificering van de gevolgen voor het landgoed en het aangrenzende landbouwgebied zijn berekeningen nodig met scenario's waarbij de randvoorwaarden door belanghebbenden worden vastgesteld.

Andere aanpassingen binnen het landgoed die gericht zijn op vernatting en/of verhoging van de invloed van basisch grondwater in het bodemprofiel hebben directe consequenties voor de beheersdoelstelling van het landgoed. Hierbij valt te denken aan:

- het herstellen greppels ed. waardoor tijdens erg natte perioden een deel van het neerslagoverschot oppervlakkig kan worden afgevoerd
- het vervangen van beuken door een andere begroeiing om een verzurende humusopbouw tegen te gaan. Onder beukenopstanden blijkt accumulatie van strooisel veel substantiëler te zijn, wat samenhangt met een moeilijk afbreekbaar strooiseltype.
- het vervangen van bosopstanden met een dikke wortelzone door begroeiingstypen met een dunnere wortelzone waardoor de capillaire flux hoger in het profiel komt. Vaak zal ook de verdamping kleiner zijn en de depositie verminderen.

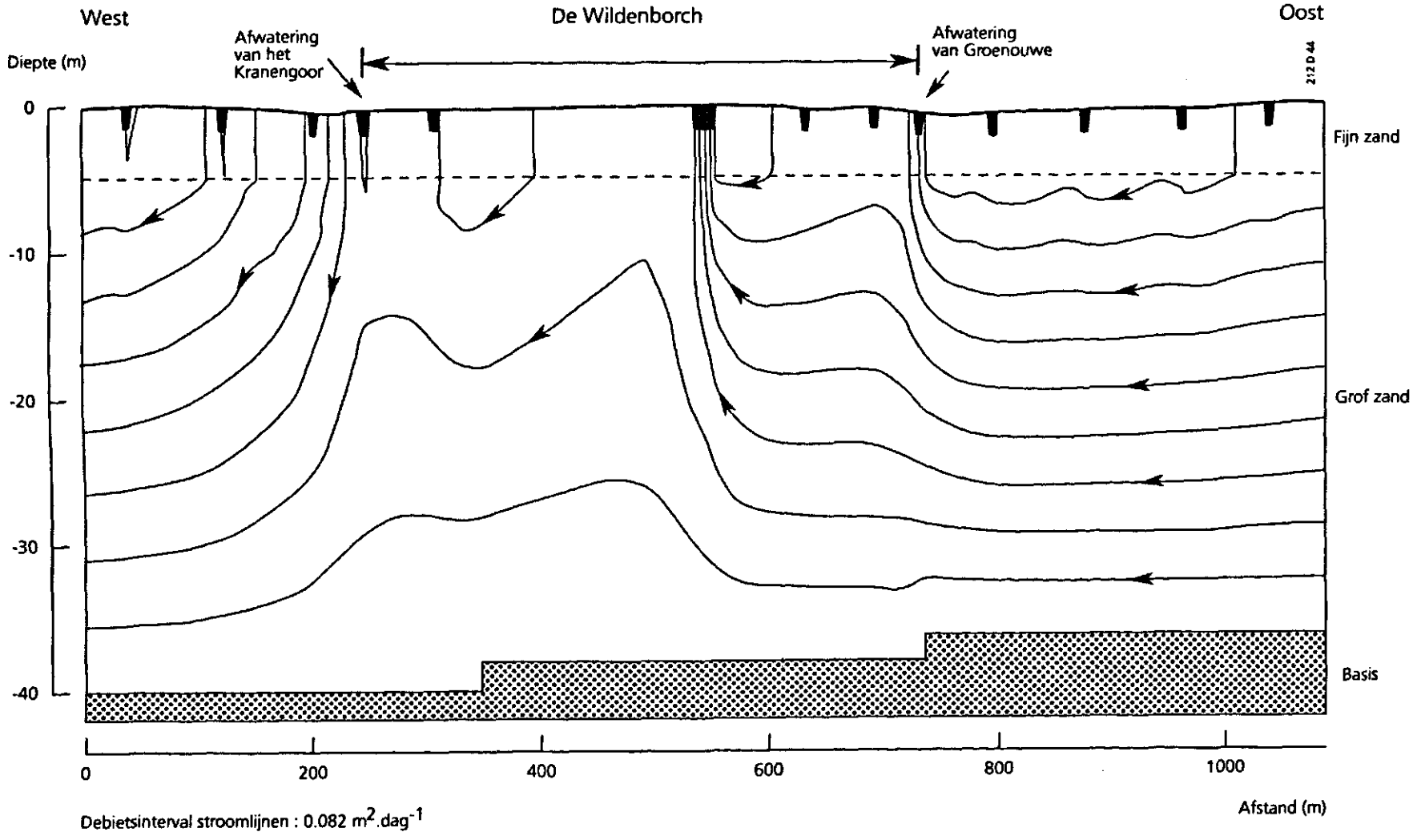


Fig. 44 Globaal berekende stroombanen van het grondwater in een oost-west doorsnede door de Wildenborch voor een situatie met een opgezet peil in de Afwateringen van Groenouwe en van het Kranengoor en een lager peil in de Wildenborch.

De effectiviteit van de laatste maatregel wordt geïllustreerd aan de hand van een met SWACROP berekende flux onder een graslandvegetatie op een enkeerdgrond met een 30 cm dikke wortelzone. De omstandigheden zijn verder vergelijkbaar met die uit hoofdstuk 5.4 (figuur 45). Vergeleken met bosopstanden komen de opwaartse fluxen onder korte vegetaties in de zomer hoger in het profiel (zie figuur 30a en c). De kans op vochttekorten blijft klein.

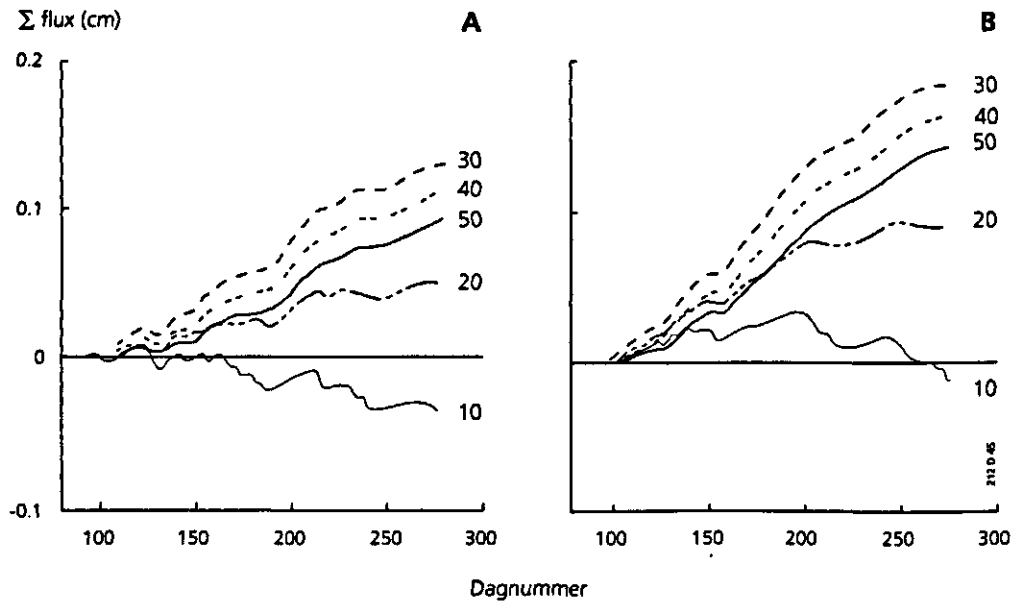


Fig. 45 Cumulatieve verloop van de verticale flux op 10, 20, 30, 40 en 50 cm beneden maaiveld onder een graslandvegetatie op een enkeerdgrond gedurende het groeiseizoen. A: 1982; B: 1976

7.3 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Er kan onderscheid worden gemaakt in onderzoek dat een continuering vormt van het met dit rapport afgesloten gedeelte en in nieuw of aanvullend onderzoek.

Voor een continuering van het onderzoek kan gebruik worden gemaakt van het meetnet en de hier omschreven werkwijze. Daarbij kan uit het meetnet binnen de Wildenborch een selectie van buizen gemaakt worden om standen en kwaliteit te volgen over een langere periode, waarbij tevens gegevens over verschillende winter- en zomersituaties beschikbaar komen. Na het nemen van maatregelen voor vernatting kunnen met behulp van het meetnet de effecten via een monitoringsysteem gevolgd worden. De tweewekelijkse metingen van standen in de buizen en de peilen van het oppervlaktewater dienen dan gecontinueerd te worden terwijl voor de waterkwaliteit per jaar met één meetronde aan het einde van de winter en één meetronde in de zomer kan worden volstaan. Voorgesteld wordt om de volgende meetpunten uit figuur 2 te handhaven:

- langs de randen S5, S28, S12 en S27;
- in delen met een cultuurdek S20 en S2;
- in het oostelijk graslandje S24;
- in de overige delen S33 en S50;
- van het oppervlaktewater W12 en W13;
- in de Afwatering van Groenouwe W4 en W7;
- in de Afwatering van het Kranengoor W5 en W8.

Om een relatie te kunnen leggen met het diepe grondwater dient ook het primaire meetnet te worden opgenomen. Eventueel kan punt P6, ten noordwesten van het landgoed, vervallen.

De stroming en samenstelling van het grondwater in het stroomgebied van de Wildenborchsche Veengoot is in kaart gebracht. Daarmee is aan de doelstelling van het secundaire meetnet voldaan en kunnen de metingen worden afgesloten. Om de gevolgen van eventuele maatregelen te kunnen volgen is het zinvol de standen in meetbuizen rond de Wildenborch met dezelfde frequentie te blijven opnemen. Dit betreft dan de buizen S4, S10, S14, S13 en S6 (figuur 2)

Om de ontwikkelingen in de humusprofielen te volgen kan worden volstaan met een kartering en analyse van de 11 bemonsterde plekken met een periodiciteit van 3 à 5 jaar.

Voor nieuw en aanvullend onderzoek binnen de Wildenborch kan gedacht worden aan het vervaardigen van een gedetailleerde hoogtekaart waarmee onder andere de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld nauwkeurig kunnen worden bepaald en vervolgens gerelateerd aan bodem, humus en waterkwaliteit.
Met het ontwikkelde inzicht in de werking van de eco-hydrologie in relatie tot het humusprofiel is het interressant om onder enkele andere bosopstanden en ook onder korte vegetaties het humusprofiel te bemonsteren.
Verder is het geologisch en ecologisch gezien informatief om uitsluitsel te krijgen over de verspreiding van de venige laag die op een aantal plaatsen op verschillende diepte is aangetroffen.
Voor een ruim gebied rond de Wildenborch verdient het aanbeveling om onderzoek te doen naar de mogelijkheden voor verhoging van het regionale drainageniveau.

Literatuur

Alta, H., 1952. *De Achterhoek.* Koninklijke Nederlandsche Toeristenbond, 's-Gravenhage.

Bakker, H. de, G. Ebbers en C. Hamming, 1981. Dr. W.C.H.Staring: *Een beknopte beschrijving van zijn aardkundige kaarten en van zijn woongebied.* In Boor en Spade, mededelingen van de Stichting van de Bodemkartering (20). Blz. 20-61.

Bakker, H. de en J. Schelling, 1989. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus.* Wageningen, PUDOC.

Belmans, C., J.G. Wesseling en R.A. Feddes, 1983. *Simulation model of a water balance of a cropped soil: SWATRE.* Journal of Hydrology 63 (3/4): 271-286.

Bodemkaart van Nederland, 1 : 50 000, 1979. *Toelichting bij de kaartbladen 34 West Enschede en 34 Oost Enschede - 35 Glanerbrug.*

Bolt, G.H. and G.M. Bruggenwert, 1976. *Soil chemistry. Basic elements.* Elseviers Scientific Publishing Company, Amsterdam.

Boogman, J.C., 1990.(red.). A.C.W. *Staring: dichter, landman, regionalist en nationalist,* Zutphen.

Cals, M., M. de Graaf en J. Roelofs (eds.), 1993. *Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in natuurterreinen.* Proceedings symposium. Katholieke Universiteit Nijmegen.

Demoed, H.B., 1990. *De landbouwkundige activiteiten van A.C.W. Staring.* In: J.C. Boogman et al. (red.). A.C.W. Staring: dichter, landman, regionalist en nationalist, Zutphen, pp. 170-189.

Dierx, H.A.L., 1987. *Rapport Lochem + deelrapporten.* N.V. Waterleiding Maatschappij Oostelijk Gelderland. Doetinchem.

Draaijers, G.P.J., W.P.M.F. Ivens and W. Bleuten, 1988. *Atmosperic deposition in forest edges measured by monitoring canopy throughfall.* Water, Air and Soil Pollution 42: 129-136.

Duijvenbooden, W. van, 1980. *De samenstelling van het in de Achterhoek gewonnen grondwater.* Basisrapport ten behoeve van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland.

Duijvenbooden, W. van, J. Taat en L.F.L. Gast, 1985. *Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit: Eindrapport van de inrichtingsfase.* Leidschendam, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne. Rapport 840382001. 99 pp + bijl.

Eeden, F.W. van, 1886. *Onkruid: botanische wandelingen.* Haarlem, herdruk 1974.

Engelen, G.B., J.M.J. Gieske en S.O. Los, 1988. *Grondwaterstromingsstelsels in Nederland (werkdocument).* Vrije Universiteit, Amsterdam.

Engelen, G.B., J.M.J. Gieske en S.O. Los, 1989. *Grondwaterstromingsstelsels in Nederland.* Achtergrondsreeks Natuurbeleidsplan nr. 2, SDU Uitgeverij, 's-Gravenhage.

Engelen, G.B., 1993. *Haalbaarheidsonderzoek bestrijding verdroging: Project 't Zand/de Wiersse.* Deelrapport Hydrologie; in prep. Grontmij, De Bilt.

Erisman, J.W., 1991. *Acid deposition in the Netherlands.* RIVM rapport 723001002, Bilthoven.

Ernst, L.F., N.A. de Ridder en J.J. de Vries, 1970. *A geohydrologic study of East Gelderland.* Geologie en Mijnbouw 49 (6).

Feddes, R.A., 1971. *Water, heat and crop growth.* Wageningen, Veenman. 178pp.

Gaans, P.F.M., S.P. Vriend en G. Fraporti, 1992. *Pyrietoxydatie in de Noordbrabantse ondergrond: Achtergronden, oorzaken en gevolgen voor de waterkwaliteit.* H2O, nr.26. Pag. 736-737.

Groenendijk, P. en F.J.M. van der Bolt, 1990. *Effecten van waterbeheer op standplaatsen met korte vegetaties; Waterkwaliteit en zuurhuishouding.* Wageningen, Staring Centrum. Rapport 64.5.

Groenendijk, P. *The calculation of streamlines, potentials and travel times in groundwatersystems.* Wageningen, The Winand Staring Centre. Report in prep.

Grontmij, 1993. *Haalbaarheidsonderzoek bestrijding verdroging: Project 't Zand/de Wiersse.* Grontmij Gelderland, Arnhem. Rapport 709MG. 44pp.

Grootjans, A.B., 1985. *Changes of groundwater regime in wet meadows.* Rijksuniversiteit Groningen. 146 pp.

Grootjans, P., 1984. *De geohydrologische beschrijving van de provincie Gelderland.* Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft; Dienst Waterbeheer, Provincie Gelderland, Arnhem.

Harenberg, J., 1975. *Kastelen en buitenplaatsen in ons gewest.* Archief De Graafschap 1975. pp. 44-80.

Heesen, H.C. van en G.J.W. Westerveld, 1966. *Karakterisering van het grondwaterstandsverloop op de bodemkaart.* Cultuurtechnisch Tijdschrift 3-3: 116-123.

Heidelberg, E.E. en J. Super, 1991. *Globale berekening intrekgebieden in de provincie Gelderland.* Nieuwegein,. KIWA. SWO 91.231.

Hoogendoorn, J.H., 1983. *Hydrochemie Oost - Nederland.* Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

Jansen, P.C., 1992. *Bemonsteringsstrategie voor meten grondwaterkwaliteit in natte natuurgebieden.* Landinrichting, tijdschrift voor inrichting en beheer van het landelijk gebied. Jaargang 32, nr.2. Pag. 25 - 32.

Jolles, A.J., 1941. *A.C.W. Staring en de Veengoot.* Bijdragen en Mededelingen Gelre 44, pp. 28-60.

Kemmers, R.H. en G. van Wirdum, 1988. *De betekenis van de chemische samenstelling van het grondwater voor het milieu van wilde planten.* Biovisie Magazine 2, nr. 12. pag. 12 - 16.

Kemmers, R.H., en P.C. Jansen, 1985. *Hydrologie in relatie tot de beschikbaarheid van vocht en voedingsstofen voor natuurlijke begroeiingen.* Cultuurtechnisch Tijdschrift. Jaargang 24 (4): 195-211.

Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft en P.C. Jansen, 1992. *Monitoring effectgerichte maatregelen Groot-Zandbrink; beschrijving van de uitgangssituatie in 1991.* Wageningen. Interne Mededeling 199. DLO-Staring Centrum.

Kemmers, R.H., 1990. *De stikstof- en fosforhuishouding van mesotrofe standplaatsen in relatie tot mogelijkheden van aanvoer van gebiedsvreemd water.* The Utrecht Plant Ecology News Report no. 10.

Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft en P. Mekkink, 1993. *Soil survey and humus form research in Dutch forest reserves.* In: M.E.A. Broekmeyer, W.Vos en H.G.J.M.Koop (eds.): Proceedings of the European Forest Reserves Workshop. Wageningen, Pudoc, in press.

Klinka, K., R.N. Green, R.L. Trowbridge and L.E. Lowe, 1981. *Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia.* B.C. Min. For. Land Manage. Rep. No. 8. Victoria. B.C.

K.N.M.I., 1993. *Overzicht van de maandelijkse weersgesteldheid.* Koninklijk Nedelands Meteorologisch Instituut, De Bilt.

Kooiman, J.W., B. van Lagen, H.F.J. Kempen en L. van der Werf, 1993. *Veranderingen in de waterhuishouding in de periode 1950-1990.* Arnhem, Provincie Gelderland. 223p.

Lambert, J.W.M., 1989. *Verdroging in Gelderland.* Rapport nr. OS 89-57. Dienst Grondwaterverkenning-TNO. 55 pp + bijlagen.

Molenaar, J.G. de, 1980. *Bemesting, waterhuishouding, intensivering in de landbouw en het natuurlijk milieu.* Rapport 80/6. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 349 pp.

Nabuurs G.J. en G. van Tol, 1993. *Effecten van verdroging op het Nederlandse bos.* Bosbouwvoorlichting, nr. 32-4, pag 57-61.

Provincie Gelderland, 1985. *Grondwaterplan, bijlage 1; Geohydrologie.* Provincie Gelderland, Arnhem.

Provincie Gelderland, 1991. *Provinciaal metnet grondwaterkwaliteit.* Verslag 1988 en 1989. Provincie Gelderland, Dienst Milieu en Water, Arnhem.

Reuter, K.N., en J.J. Kouwe, 1958. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Gelderland.* Commissie onderzoek landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO Rapport 6, 121pp.

Rijks Geologische Dienst, 1991. *Karakterisering hydrogeologische opbouw van de provincie Gelderland.* Rapport Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Sevink, J., R.H. Kemmers en I. Emmer, 1993. *Soil research in Dutch forest reserves.* In: M.E.A. Broekmeyer, W. Vos & H.G.J.M. Koop (eds.): Proceedings of the European Forest Reserves Workshop. Wageningen, Pudoc, in press.

Sluis, P. van der, 1982. *De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop.* H_2O jaargang 15 (3): p. 42-46.

Smoor, P.B. en N.A. de Ridder, 1972. *Grondwaterkaart van Nederland, kaartblad 34 West en 41 West.* Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

Staatsbosbeheer, 1980. *Het landgoed de Wildenborch in Vorden.* Staatsbosbeheer, Vorden.

STIBOKA, 1979. *Bodemkaart van Nederland; bladen 34 West, 34 Oost en 35.* Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Tengbergen, A.E.J., 1988. *De acht kastelen van Vorden.* Thieme, Zutphen.

Veldink, J.G., 1970. W.C.H. *Staring, 1801-1877, geoloog en landbouwkundige.* Dissertatie. Wageningen.

Verkooijen, R.G.V.A., J.H. Hoogendoorn en P. Grootjans, 1985. *Hydro-chemie in de Procincie Gelderland.* Arnhem, Provincie Gelderland. 74p.

Vos, W. and A.H.F. Stortelder, 1988. *Vanishing Tuscane Landscapes.* Res. Inst. For. and Lands. Plann. Wageningen, The Netherlands.

Vries, F. de en C. van Wallenburch, 1990. *Met de nieuwe grondwaterindeling meer zicht op het grondwater.* Landinrichting 30 (1), p. 31-36.

Vries, J.J. de, 1969. *Relatie tussen het sulfaat- en ijzergehalte van het diepe grondwater in de Gelderse Achterhoek.* Water 53,(11), p.623 - 627.

Vries, W. de, A. Breeuwsma en F. de Vries, 1989. *De kwetsbaarheid van de Nederlandse bodem voor verzuring.* Wageningen, Staring Centrum - DLO. Rapport 29. 74 pp.

Werf, S. van der, 1991. *Natuurbeheer in Nederland.* Deel 5: Bosgemeenschappen. Wageningen, Pudoc.

Wind, G.P., 1986. *Slootpeilverlaging en grondwaterstandsdaling in veenweidegebieden.* Cultuurtechnisch Tijdschrift (25) nr.5, pag. 321-330.

Wirdum, G. van, 1981. *Linking-up the natec subsystem in models for the water-management.* CHO-TNO Proc. and Inf. 27: 108-128.

Wirdum, G. van, 1991. *Vegetation and hydrology of floating rich-fens.* Universiteit van Amsterdam. 310pp.

Wösten, J.H.M., W.H. Bannink en J. Beuving, 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks.* ICW-rapport 18, Wageningen. 75p.

Zagwijn, W.H. en C.J. van Staalduinen, 1975. *Toelichting bij Geologische overzichtskaarten van Nederland.* Rijksgeologische Dienst.

Zuiveringschap Oostelijk Gelderland. *De kwaliteit van het oppervlaktewater.* Jaarverslagen. Doetinchem.

Zuurdeeg, N., 1991. *Water wijst de weg; samenhang in het landschap van de Achterhoek.* Doetinchem, Staring Instituut. Natuur en Landschap in de Achterhoek en Liemers 5 (3/4): 98-106.

Zweers, L, E. Roeterd, J. Medenblik, P. Dorsman, G. Lappee, 1992. *De Wildenborch, landgoed met eeuwige dorst.* I.A.H.L. Velp. 84pp. + bijlagen.

Niet gepubliceerde bronnen

Anonymus, 1991. *Onderzoek naar de uitvoering en de gevolgen van verbeteringswerkzaamheden nabij het landgoed 'de Wildenborch'.* Lochem, Technische Dienst Waterschap van de Berkel. Lochem.

Anonymus, 1993. *Vegetatiekarteringen Veluwe-Achterhoek.* Assen, buro Bakker.

Anonymus. *Dwars- en lengteprofielen van de Wildenborchsche Veengoot c.a. Lochem, Technische Dienst Waterschap van de Berkel.*

Aanhangsel 1

Boorbeschrijvingen van de diepe boringen P1 tot en met P6. De diepteaanduiding is in meters beneden maaiveld. Voor de locaties zie figuur 2.

P1

0,0-0,15	venig, zeer fijn zand
0,15- 1,8	zeer sterk lemig, zeer fijn zand
1,8- 4,7	lemig fijn zand
4,7- 5,2	klei
5,2- 7,0	matig grof zand
7,0- 7,5	grof zand
7,5- 8,5	matig fijn zand
8,5-10,0	matig grof zand

P2

0,0- 0,5	matig humeus, matig fijn zand
0,5- 0,7	zeer sterk lemig, uiterst humusarm, zeer fijn zand
0,7- 1,4	zandige leem
1,4- 2,0	zwak lemig, matig fijn zand
2,0- 3,0	zeer sterk lemig, zeer fijn zand
3,0- 4,0	grijze, matig zware klei
4,0- 4,0	zeer sterk lemig, matig fijn zand
4,5- 6,0	matig grof zand
6,0-10,5	matig grof zand met af en toe wat grind

P3

0,0- 0,2	matig humusarm, zandige leem
0,2- 0,9	zeer sterk lemig, zeer fijn zand
0,9- 1,2	veen
1,2- 5,0	zeer sterk lemig, zeer fijn zand
5,0- 5,5	sterk lemig, matig fijn zand
5,5- 6,0	matig grof zand
6,0- 6,5	matig grof zand met wat grind
6,5- 8,0	sterk lemig, matig fijn zand
8,0-10,0	matig grof zand
10,0-10,3	matig grof zand met wat grind

P4

0,0- 0,5	matig humeus, zeer sterk lemig, zeer fijn zand
0,5- 1,7	sterk tot zeer sterk lemig, zeer fijn zand
1,7- 2,5	zandige leem
2,5- 3,0	zeer sterk lemig, zeer fijn zand
3,0- 5,7	sterk lemig, matig fijn zand
5,7-10,0	matig grof zand met af en toe wat grind

P5

0,0-0,25	matig humeus, zeer sterk lemig, zeer fijn zand
0,25- 3,5	sterk lemig, zeer fijn zand
3,5- 6,0	matig fijn zand
6,0-12,5	matig grof zand met af en toe wat grind
12,5-20,0	matig grof tot zeer grof zand, afgewisseld met grindlagen

P6

0,0- 0,2	matig humeus, matig fijn zand
0,2- 1,0	matig fijn zand
1,0- 3,0	sterk lemig, matig fijn zand
3,0- 7,0	matig fijn tot matig grof zand
7,0- 9,5	matig grof zand
9,5-10,0	grindhoudend, matig grof zand

Aanhangsel 2

Tabel 1 Overzicht van bewerkingen van analyseuitslagen van bodemmonsters. BODEM: pZg: beekeerdgrond; pZn: gooreerdgrond; Hn: veldpodzolgrond; vWp: moerpodzolgrond; cZg/kpZg: beekeerdgrond met resp. cultuurdek en kleidek. LAAG: 1: L/F-horizont; 2: H-horizont; 3: Ah-horizont. BOOM: 1: hardhout/naaldhout; 2: zachthout.

Monster	Bodem	Laag	Boom	Dikte cm	PH-W	Org.stof %	P-Tot	N-Tot mg/100g	CEC	H-s	Ca-s	Mg-s mmol(c)/kg	K-s	Na-s
WBI	pZg	1	1	8,0	3,6	71,7	95,7	2373,4	687,1	1171,9	107,6	29,0	5,6	13,3
WBI	pZg	3	1	8,0	3,7	8,1	33,8	382,8	293,1	388,3	10,9	4,2	1,4	5,9
WBII	kpZg	1	2	3,0	4,2	75,3	121,9	2282,6	596,8	845,3	98,8	25,4	9,5	5,1
WBII	kpZg	2	2	2,0	3,4	54,9	117,5	1896,8	699,2	1199,4	65,6	15,8	6,8	5,2
WBII	kpZg	3	2	5,0	3,9	7,5	53,3	364,7	277,1	371,2	12,0	4,5	2,7	4,6
WBIII	pZn	1	1	6,0	3,3	85,7	110,0	2698,4	608,2	1194,9	88,0	21,8	8,1	6,4
WBIII	pZn	2	1	2,0	2,9	66,3	81,0	1932,5	719,7	1436,0	56,8	13,4	6,6	5,9
WBIII	pZn	3	1	8,0	3,4	12,5	52,8	465,0	388,7	501,3	10,6	3,4	2,1	4,2
WBIV	Hn	1	1	8,0	3,2	88,0	96,6	2357,2	604,0	1377,4	62,3	20,5	9,3	5,4
WBIV	Hn	2	1	4,0	2,9	71,2	86,4	1861,3	730,2	1452,0	37,4	11,2	7,2	5,1
WBIV	Hn	3	1	12,0	3,5	9,2	30,6	297,6	298,8	405,9	7,2	2,6	1,7	4,5
WBV	cZg	3	2	0,5	5,0	6,5	51,0	346,2	240,9	286,9	30,3	9,1	2,4	4,3
WBVI	vWp	1	1	4,0	3,4	81,2	99,1	2348,4	561,8	1264,3	90,8	25,1	7,0	7,1
WBVI	vWp	2	1	6,0	3,0	60,1	97,0	1468,4	729,4	1368,5	41,9	12,6	4,4	6,1
WBVI	vWp	3	1	10,0	3,4	21,7	47,3	710,8	603,2	758,3	11,1	4,0	1,8	6,2
WBVII	cZg	1	1	5,0	4,0	81,0	105,8	2279,6	568,0	972,7	188,0	35,6	7,4	12,3
WBVII	cZg	2	1	3,0	3,8	37,3	77,1	1190,5	733,1	682,7	92,7	19,3	4,0	6,6
WBVII	cZg	3	1	8,0	5,4	9,3	57,1	457,2	342,2	367,2	58,6	15,0	1,6	6,0
WBVIII	cZg	1	1	3,0	4,4	71,3	120,1	2142,3	688,2	1052,9	207,4	42,6	7,3	6,7
WBVIII	cZg	3	1	3,0	5,4	9,1	56,4	443,1	343,1	362,8	69,8	14,4	1,7	5,4
WBIX	pZg	1	1	5,0	3,2	84,3	89,9	1928,6	582,8	1289,5	80,3	18,7	7,0	6,6
WBIX	pZg	3	1	5,0	3,6	7,8	48,2	317,9	242,0	325,8	8,4	3,1	1,7	4,7
WBX	pZg	1	2	3,0	4,3	62,8	113,5	2414,1	716,0	890,9	138,7	30,0	6,9	6,8
WBX	pZg	3	2	3,0	3,9	8,7	56,3	507,0	302,7	411,9	16,2	5,6	1,8	5,0
WBXI	pZg	3	2	0,5	4,2	8,5	63,7	522,0	300,8	408,7	22,3	6,0	1,4	5,5

Tabel 2 ***Overzicht van bewerkingen van analyseuitslagen van bodemmonsters. BODEM: pZg: beekeerdgrond; pZn: gooreerdgrond; Hn: veldpodzolgrond; vWp: moerpodzolgrond; cZg/kpZg: beekeerdgrond met resp. cultuurdek en kleidek. LAAG: 1: L/F-horizont; 2: H-horizont; 3: Ah-horizont.***

Monster	Laag	Bodem	C-el (%)	P-org. (%)	C/N	C/p	H/Ca	Ca-bezetting (%)
WBI	1	pZg	38,0	0,074	16,0	512,4	10,89	0,08
WBI	3	pZg	4,3	0,011	11,2	397,9	35,62	0,05
WBII	1	kpZg	39,9	0,089	17,5	446,8	8,56	0,08
WBII	2	kpZg	29,1	0,077	15,3	378,5	18,28	0,06
WBII	3	kpZg	4,0	0,020	10,9	194,5	30,93	0,06
WBIII	1	pZn	45,4	0,088	16,8	513,5	13,58	0,06
WBIII	2	pZn	35,1	0,064	18,2	549,4	25,28	0,05
WBIII	3	pZn	6,6	0,023	14,2	292,1	47,29	0,04
WBIV	1	Hn	46,6	0,083	19,8	563,5	22,11	0,04
WBIV	2	Hn	37,7	0,069	20,3	545,6	38,82	0,03
WBIV	3	Hn	4,9	0,010	16,4	502,4	56,37	0,03
WBV	3	cZg	3,4	0,019	10,0	183,6	9,47	0,17
WBVI	1	vWp	43,0	0,081	18,3	533,7	13,92	0,06
WBVI	2	vWp	31,9	0,069	21,7	461,5	32,66	0,04
WBVI	3	vWp	11,5	0,024	16,2	469,9	68,32	0,02
WBVII	1	cZg	42,9	0,084	18,8	511,3	5,17	0,14
WBVII	2	cZg	19,8	0,047	16,6	416,4	7,36	0,13
WBVII	3	cZg	4,9	0,023	10,8	211,8	6,27	0,23
WBVIII	1	cZg	37,8	0,086	17,6	437,4	5,08	0,15
WBVIII	3	cZg	4,8	0,023	10,9	211,4	5,20	0,27
WBIX	1	pZg	44,7	0,077	23,2	576,5	16,06	0,05
WBIX	3	pZg	4,1	0,018	13,0	229,9	38,79	0,05
WBX	1	pZg	33,3	0,079	13,8	422,5	6,42	0,11
WBX	3	pZg	4,6	0,023	9,1	204,4	25,43	0,07
WBXI	3	pZg	4,5	0,026	8,6	171,7	18,33	0,09

Aanhangsel 3

Analyseresultaten van de bemonstering van grond- en oppervlaktewater dd. 5 april 1993 en 12 augustus 1993. Voor de locaties: zie figuur 2.

Datum	Punt/ filter[1)]	Diepte	EC20 mS/m	pH	K+ mg/l	Na++ mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	Cl- mg/l	SO4= mg/l	HCO3- mg/l
930405	P1B1	10	79,9	7,1	10,1	16,8	143,9	17,4	28,0	71,8	352,0
930405	P1B2	7	96,7	6,8	11,8	14,9	196,4	17,7	24,6	87,2	661,0
930405	P1B3	4	71,3	7,0	4,7	12,7	145,9	14,8	22,2	62,8	474,0
930405	P2B1	10	70,8	7,0	1,4	22,8	137,7	9,8	22,0	90,4	393,0
930405	P2B2	7	63,5	7,0	0,4	7,1	142,1	7,6	17,9	71,7	388,0
930405	P2B3	4	72,0	7,3	1,0	18,8	157,7	11,2	32,4	103,9	431,0
930405	P3B1	10	70,8	6,9	1,7	13,4	146,2	12,0	26,6	116,6	382,0
930405	P3B2	7	65,3	7,1	0,9	13,7	135,1	9,9	25,0	85,2	390,0
930405	P3B3	4	70,1	7,0	1,1	11,6	139,7	21,8	25,7	77,5	448,0
930405	P4B1	10	64,6	6,8	0,5	13,2	134,6	9,9	27,0	99,8	336,0
930405	P4B2	7	56,5	7,1	0,9	12,9	114,7	8,0	24,2	42,6	357,0
930405	P4B3	4	54,2	7,1	0,7	15,4	111,2	8,9	25,1	18,6	394,0
930405	P5B1	20	76,8	7,0	1,4	17,3	149,6	15,1	35,2	104,0	419,0
930405	P5B2	10	75,7	7,0	0,6	23,9	145,3	14,6	44,1	116,6	374,0
930405	P5B3	7	69,1	7,1	0,8	19,4	131,1	12,0	38,6	100,1	346,0
930405	P5B4	4	70,0	7,0	8,9	17,1	132,7	13,3	20,2	98,4	342,0
930405	P6B1	10	60,3	7,7	5,6	55,0	74,0	11,6	52,3	42,1	270,0
930405	P6B2	7	43,3	8,1	7,0	7,6	77,3	5,6	12,6	19,8	217,0
930405	P6B3	4	62,6	6,7	2,2	11,4	133,6	5,1	16,7	42,8	294,0
930405	S1	SEC[2)]	75,8	7,3	3,1	24,2	156,5	13,8	38,3	85,5	492,0
930405	S2	SEC	56,4	7,4	3,1	11,1	123,5	10,0	13,1	62,7	437,0
930405	S3	SEC	24,0	6,2	18,1	7,7	33,1	3,3	13,7	32,4	175,0
930405	S4B1	SEC	71,7	7,0	5,2	17,0	145,0	15,4	30,3	71,2	431,0
930405	S4B2	SEC	74,3	7,0	8,6	14,3	145,3	19,4	21,8	38,4	526,0
930405	S5	SEC	123,6	7,3	6,6	39,9	301,0	30,3	104,0	235,0	801,0
930405	S6	SEC	505,0	7,0	104,9	332,0	1024,7	88,3	258,0	976,0	1236,0
930405	S7B1	SEC	35,4	6,8	2,3	6,4	76,2	4,0	7,8	15,8	193,0
930405	S7B2	SEC	12,8	5,0	0,8	3,3	18,1	1,9	4,3	13,5	6,0
930405	S8	SEC	151,8	6,5	261,8	92,6	145,7	23,4	236,0	277,1	383,0
930405	S9B1	SEC	36,8	5,6	17,1	10,6	45,4	6,8	10,0	45,0	34,0
930405	S9B2	SEC	34,4	5,7	19,8	12,0	41,0	7,8	12,5	43,1	34,0
930405	S10	SEC	135,4	7,2	54,1	83,9	275,6	21,7	98,1	242,1	800,0
930405	S11	SEC	42,5	6,6	1,8	8,8	71,1	8,9	16,8	56,7	106,0
930405	S12	SEC	87,0	6,9	0,8	31,2	161,3	20,9	75,9	131,5	424,0
930405	S13	SEC	50,5	6,8	38,9	16,3	71,2	9,8	22,5	49,5	291,0
930405	S14	SEC	51,2	7,1	16,6	27,1	87,3	17,8	33,9	26,4	465,0
930405	S15	SEC	150,0	7,1	247,1	12,7	191,4	41,5	41,2	37,0	1385,0
930405	S16	SEC	71,8	6,1	13,1	61,9	87,9	11,5	131,0	125,7	116,0
930405	S17	SEC	169,9	7,2	2,6	14,8	571,6	23,8	31,8	857,5	719,0
930405	S20	SEC	89,0	7,0	1,0	14,4	183,3	20,5	55,0	173,9	593,0
930405	S22	SEC	83,1	6,9	4,2	15,7	185,8	12,9	35,9	89,5	618,0
930405	S23	SEC	61,4	7,0	1,5	6,8	148,2	11,0	10,4	28,6	594,0
930405	S24	SEC	66,4	6,9	0,1	1,9	161,0	9,1	7,9	19,0	623,0
930405	S25	SEC	52,4	7,1	3,5	12,5	110,3	13,8	12,7	37,7	412,0
930405	S26	SEC	31,2	6,3	3,5	19,7	49,9	10,5	43,0	62,1	144,0
930405	S27	SEC	82,8	6,8	1,0	25,3	167,4	11,6	49,9	116,3	344,0

Vervolg aanhangsel 3

Datum	Punt/ filter[1)]	Diepte	EC20 mS/m	pH	K+ mg/l	Na++ mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	Cl- mg/l	SO4= mg/l	HCO3- mg/l
930405	S28	SEC	137,4	6,7	1,9	48,9	349,4	16,0	120,0	400,5	560,0
930405	S29	SEC	73,3	6,8	2,7	6,8	161,8	9,3	19,6	45,8	534,0
930405	S30	SEC	71,6	6,0	2,2	10,3	158,5	11,9	22,7	31,1	495,0
930405	S31	SEC	64,7	6,9	2,7	9,0	142,8	14,5	14,0	49,2	454,0
930405	S32	SEC	65,9	7,0	0,9	10,4	146,4	10,5	19,1	53,1	428,0
930405	S33	SEC	99,2	7,3	1,0	32,9	199,4	16,6	56,9	166,1	448,0
930405	S50B1	SEC	94,8	6,9	0,6	11,7	252,3	13,1	35,0	152,4	551,0
930405	S50B2	SEC	90,1	6,8	0,7	11,5	212,6	13,0	34,6	152,4	657,0
930405	W4	OPP[3)]	63,1	7,3	1,5	16,1	133,5	11,1	28,1	63,2	417,0
930405	W5	OPP	61,0	7,4	1,2	14,9	131,0	10,8	25,3	58,5	437,0
930405	W7	OPP	66,7	7,3	2,4	18,1	135,5	12,4	30,6	75,4	463,0
930405	W8	OPP	67,1	7,1	0,8	15,3	140,8	14,6	22,8	71,7	454,0
930405	W12	OPP	40,4	7,7	2,9	11,5	82,3	7,8	20,1	33,0	335,0
930405	W13	OPP	45,4	7,6	2,9	11,5	91,7	8,1	20,2	40,9	305,0
930812	P1B1	10	65,3	7,3	11,1	17,5	134,7	18,3	28,9	73,4	354,1
930812	P1B2	7	85,1	7,0	11,5	16,0	211,7	16,1	26,7	86,1	732,7
930812	P1B3	4	54,0	7,2	5,2	12,4	139,2	14,1	22,6	54,9	489,4
930812	P2B1	10	60,1	7,2	1,2	21,9	136,4	9,7	32,8	87,4	347,4
930812	P2B2	7	52,4	7,2	0,0	7,2	138,9	7,3	16,8	71,9	406,0
930812	P2B3	4	76,1	7,2	0,9	11,9	221,6	13,1	25,1	121,2	597,4
930812	P3B1	10	56,4	7,2	1,5	12,9	132,9	10,7	25,1	90,5	341,0
930812	P3B2	7	51,2	7,1	0,9	13,0	127,2	9,3	25,4	72,3	358,3
930812	P3B3	4	62,0	7,1	0,7	9,5	133,8	21,5	23,6	80,9	438,6
930812	P4B1	10	52,3	7,0	0,5	13,1	130,6	9,7	2,6	91,4	346,5
930812	P4B2	7	49,6	7,1	0,7	13,7	115,2	8,0	23,3	68,4	317,7
930812	P4B3	4	40,1	7,1	0,5	19,2	93,3	6,5	19,2	5,1	314,2
930812	P5B1	20	64,9	7,2	1,4	16,6	135,5	13,4	35,6	87,6	378,0
930812	P5B2	10	67,0	7,2	1,0	23,7	84,0	14,9	35,5	118,9	372,9
930812	P5B3	7	62,9	7,2	0,9	22,5	138,6	13,0	36,4	113,8	344,7
930812	P5B4	4	56,8	7,0	6,3	15,1	118,8	13,2	44,1	104,7	295,5
930812	P6B1	10	52,3	7,8	4,3	46,1	72,0	11,1	19,5	11,1	166,8
930812	P6B2	7	34,9	8,1	9,8	7,0	68,8	6,9	10,9	15,7	87,9
930812	P6B3	4	40,2	7,9	1,9	6,2	100,4	3,4	18,3	23,5	244,0
930811	S2B1	SEC	44,8	7,4	2,3	11,1	110,7	9,0	12,9	58,3	285,9
930812	S3	SEC	14,1	5,6	6,5	14,1	16,9	2,5	19,0	14,9	45,3
930812	S4B1	SEC	58,8	7,4	7,8	9,2	134,1	14,8	30,9	46,7	432,0
930812	S4B2	SEC	60,5	7,1	11,5	9,9	133,9	10,7	19,5	47,8	472,9
930812	S5	SEC	127,7	7,1	6,1	41,3	335,2	33,9	107,0	273,5	701,0
930812	S6	SEC	233,0	7,0	42,5	152,3	534,8	36,2	434,0	427,2	814,3
930812	S7	SEC	9,7	5,6	0,0	7,0	13,6	1,7	6,7	15,5	2,5
930812	S8	SEC	92,4	6,6	165,0	74,6	87,3	12,1	165,0	142,2	249,2
930812	S9	SEC	37,0	6,2	34,7	13,5	39,0	7,6	11,6	39,3	20,1
930812	S10	SEC	103,6	7,1	78,5	58,5	168,5	16,1	75,5	174,5	607,7
930812	S11	SEC	35,9	6,6	0,4	11,4	67,1	7,8	17,5	44,8	46,9
930812	S12	SEC	74,2	7,2	0,9	31,1	155,1	16,9	62,4	100,5	450,4
930812	S13	SEC	35,6	6,7	31,2	15,7	38,7	5,4	10,4	37,0	76,5
930812	S14	SEC	58,3	7,2	24,3	28,4	102,2	20,9	29,9	40,8	355,4
930812	S15	SEC	107,3	7,0	146,1	34,9	140,1	19,6	67,5	19,4	762,8
930812	S16	SEC	60,1	6,1	19,0	56,7	95,4	13,5	77,6	229,0	54,6
930812	S17	SEC	154,4	7,4	1,3	14,3	547,5	21,2	30,7	767,6	735,0
930812	S20	SEC	79,5	7,1	0,6	14,0	223,0	18,0	51,0	206,6	421,5
930812	S22	SEC	74,2	7,4	12,8	22,7	181,9	12,2	24,9	124,6	558,3

Vervolg aanhangsel 3

Datum	Punt/ filter[1)]	Diepte	EC20 mS/m	pH	K+ mg/l	Na++ mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	Cl- mg/l	SO4= mg/l	HCO3- mg/l
930812	S23	SEC	43,6	6,9	0,8	10,7	117,5	10,7	5,0	25,8	418,4
930812	S24	SEC	43,1	7,1	0,0	3,5	115,3	6,8	4,5	10,5	389,6
930812	S25	SEC	41,2	7,2	0,6	11,5	102,7	7,5	10,7	32,7	254,9
930812	S26	SEC	35,6	6,5	0,7	28,8	61,2	12,4	43,7	99,6	111,0
930812	S27	SEC	62,3	7,4	0,7	27,9	143,2	8,6	46,3	117,2	203,6
930812	S28	SEC	107,7	7,3	1,7	40,5	260,3	12,2	77,8	288,4	440,3
930812	S29	SEC	36,7	7,0	2,1	7,4	79,3	4,5	11,6	31,7	92,9
930812	S30	SEC	46,0	7,3	0,6	14,2	124,5	9,0	12,9	32,7	423,0
930812	S31	SEC	48,8	7,4	1,1	8,1	115,2	11,6	21,8	66,5	332,4
930812	S32B1	SEC	52,8	7,9	0,6	10,9	129,7	8,9	19,5	62,4	390,2
930812	S33	SEC	146,1	7,3	3,1	64,5	404,8	24,2	109,0	348,9	900,9
930812	S50	SEC	81,3	7,3	1,2	20,8	241,1	11,4	30,2	102,6	638,4
930812	W1	OPP	52,3	7,5	1,5	28,0	105,0	11,1	37,2	77,4	256,6
930812	W4	OPP	54,1	7,5	2,5	17,4	125,9	10,6	26,9	51,9	356,3
930812	W5	OPP	51,1	7,5	1,9	15,0	134,7	11,3	24,2	57,0	393,5
930812	W6	OPP	64,5	7,5	3,1	35,0	132,9	13,1	28,4	92,4	392,6
930812	W7	OPP	56,3	7,6	5,3	20,4	120,9	11,6	31,5	56,0	317,2
930812	W8	OPP	62,2	7,3	1,0	17,2	137,3	13,9	24,3	64,0	353,5
930812	W9	OPP	53,8	7,6	2,2	16,6	128,8	13,3	22,4	70,8	346,2
930812	W12	OPP	24,0	7,4	2,3	7,9	54,1	5,1	14,1	15,6	141,5
930812	W13	OPP	30,8	7,5	1,9	10,4	74,1	6,5	18,4	22,9	192,5

1) filternummering van diep naar ondiep: B1, B2, etc.
2) sec = secundair meetnet (bovenste grondwater)
3) opp = oppervlaktewater