

32/uu6 (540)  
20ex

# **Chemische samenstelling van bodem en grondwater in het stroomgebied van de Drentse Aa**

**Inventarisatie ten behoeve van de parametrisatie en validatie van de  
standplaatsmodule van het GREINS-model**

**J.M. Klap  
J. Kros  
W.A. de Boer**

**SC Rapport 541  
NBP Onderzoeksrapport 12**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1999**

LS19 66718

## REFERAAT

Klap, J.M., J. Kros en W.A. de Boer, 1999. *Chemische samenstelling van bodem en grondwater in het stroomgebied van de Drentse Aa; inventarisatie ten behoeve van de parametrisatie van de standplaatsmodule van het GREINS-model*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 541. NBP Onderzoeksrapport 12, 134 blz.; 13 fig.; 85 tab.; 19 ref.; 3 aanh.

In 1994 is een inventarisatie uitgevoerd van de chemische samenstelling van de bodem en het freatische grondwater in het stroomgebied van de Drentse Aa. Doel was om het voorgestelde fysiotoopmodel te valideren en de modellering van de bodemontwikkeling te parametriseren en te valideren. De resultaten voor de vaste fase (o.a. organischestofgehalte, C/N-ratio en basenbezetting), het grondwater (ion-concentraties en similariteit met de MAION-referentietypen) en het bodemvocht (ion-concentraties en -ratio's) geven een redelijke onderbouwing van het fysiotoopmodel. De basenklasse is meestal de belangrijkste predictor, en voor de vaste fasegehalten de grondsoort. Enkele kleine aanpassingen lijken noodzakelijk.

Trefwoorden: basenverzadiging, bodemvocht, C/N-ratio, fysiotoop, MAION, natuurontwikkeling, organische stof, pH, vegetatie, verzuring

ISSN 0927-4499

©1999 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

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.

Project 7354

(Rap541.IS/02-99)

# Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Doel	14
1.3 De fysiotooptypologie van het Drentse-Aa-gebied	14
1.4 Opbouw van dit rapport	16
2 Materiaal en methoden	17
2.1 Selectie van de locaties	17
2.1.1 Procedure en criteria	17
2.1.2 Resulterende verdeling over de abiotische klasse-indelingen en de vegetatietypen	21
2.1.2.1 Vegetatietypen	21
2.1.2.2 Grondwatertrappen	25
2.1.2.3 Basenstatus van het grondwater	26
2.1.2.4 Moedermateriaal (grondsoort)	27
2.1.2.5 Fysiotopen	28
2.2 Bemonstering en selectie van variabelen	30
2.2.1 Indeling in lagen	30
2.2.2 Geselecteerde variabelen	31
2.2.3 Bemonstering	32
2.3 Monstervoorbereiding en chemische analyses	34
2.4 Dataverwerking en presentatie	35
3 Chemische samenstelling van de vaste fase	39
3.1 Organische stof en bulkdichtheid	39
3.1.1 Algemene karakterisering	39
3.1.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria	42
3.1.3 Relatie met het fysiotoopmodel	45
3.2 Stikstof- en fosforgehaltes	47
3.2.1 Algemene karakterisering	47
3.2.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria	49
3.2.3 Relaties met het fysiotoopmodel	52
3.3 Oxalaat-extraheerbaar Fe, Al en P	55
3.3.1 Algemene karakterisering	55
3.3.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria	57
3.3.3 Relaties met het fysiotoopmodel	59
3.4 pH en uitwisselbare kationen	61
3.4.1 Algemene karakterisering	61
3.4.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria	63
3.4.3 Relaties met het fysiotoopmodel	66
3.5 Conclusies	69

4	Chemische samenstelling van het freatische grondwater	71
4.1	Algemene karakterisering	71
4.2	Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria	76
4.2.1	Grondwatertrappen	76
4.2.2	Basenstatus van het grondwater	77
4.2.3	Grondsoorten	78
4.2.4	Vegetatietype	79
4.3	Relatie met het fysiotoopmodel	81
4.3.1	Statistische analyse	81
4.3.2	Voorspelde waarden per fysiotoop	83
4.4	Conclusies	88
5	Chemische samenstelling van het bodemvocht	91
5.1	Algemene karakterisering	91
5.2	Verschillen tussen de lagen	92
5.3	Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria	94
5.4	Relatie met het fysiotoopmodel	97
5.4.1	Statistische analyse	97
5.4.2	Voorspelde waarden per fysiotoop	100
5.4	Correlatie met grondwatersamenstelling	102
5.5	Conclusies	104
6	Discussie	105
6.1	Proefopzet	105
6.2	Statistische methoden	107
6.3	Fysiotoopmodel	109
6.4	Gelaagde profielen	111
7	Conclusies	115
	Literatuur	117
	<b>Aanhangsels</b>	
A	Overzicht van de bemonsterde locaties met alle relevante gegevens	119
B	Originele resultaten van de chemische analyses	123
C	Significantie van de verschillen tussen de 1994- en de 1990/92-metingen	135

## Woord vooraf

De chemische karakterisering van bodem en grondwater van het Drentse-Aa-gebied is één van de meer praktische onderdelen van het werk in het kader van het DLO-deelprogramma 'Natuurontwikkeling'. De beschreven monstercampagne past goed in de onderzoekstrategie van SC-DLO, waarin theoretisch onderzoek ondersteund wordt door een zorgvuldig geselecteerde set van veldwaarnemingen.

De in het najaar van 1994 bemonsterde locaties lagen verspreid over de terreinen van diverse eigenaren en beheerders. De auteurs zijn al deze personen en instanties zeer erkentelijk voor hun medewerking en hun toestemming om de terreinen te betreden en te bemonsteren.

De bemonstering is uitgevoerd door de auteurs, hierbij geassisteerd door R. Sjardijn en D. Querreveld. De verwerking van de monsters in het laboratorium en de chemische analyses zijn grotendeels uitgevoerd door P. Lepelaar en R. Zwijnen. J.C. Voogd heeft belangrijke delen verzorgd van de verwerking van de aldus verkregen gegevens.

G. van Wirdum heeft het programma MAION ter beschikking gesteld, waarmee de gevonden grondwatersamenstelling vergeleken is met die van enkele referentietypen.

Waardevolle opmerkingen op het manuscript door W. de Vries, G. van Wirdum en R. Kemmers hebben bijgedragen aan het uiteindelijke resultaat van deze studie.

De Auteurs

## **Samenvatting**

### ***Inleiding***

De in dit onderzoek uitgevoerde inventarisatie van bodem, grondwater en bodemvocht in het Drentse-Aa-gebied vloeide voort uit de vraag om de standplaatsmodule van het model GREINS te voeden met gegevens. Dit onderzoek was onderdeel van het DLO-deelprogramma Natuurontwikkeling dat een uitwerking van het NBP was. Belangrijkste doelen waren het verschaffen van betrouwbare en bruikbare gegevens die geldig waren in het onderzochte gebied, waarmee tevens het fysiotoopmodel gevalideerd kon worden. Het onderzochte fysiotoopmodel is gebaseerd op kaartinformatie betreffende de Gt, de basenstatus van het grondwater en de grondsoort.

### ***Materiaal en Methoden***

In het najaar van 1994 is een bemonstering uitgevoerd op vijftig locaties in het stroomgebied van de Drentse Aa. De gegevens zijn aangevuld met gegevens van 13 eerder bemonsterde locaties. De locaties zijn zo goed mogelijk over het gebied gespreid en zo goed mogelijk aselekt verdeeld over de verschillende fysiotooptypen, de afzonderlijke abiotische milieufactoren (Gt, basenstatus van het grondwater en grondsoort) en de vegetatie(structuur)typen. In de vegetatie werden diversen typen grasland, bos, struweel en heide onderscheiden. Door de toevoeging van de eerdere locaties waren er relatief veel zand- en boslocaties.

Op alle locaties zijn de strooisellaag (onder bos) en drie minerale bodemlagen bemonsterd. De diepte en dikte van de lagen hing af van het vegetatietype. Het bodemvocht is bemonsterd op alle plekken waar dit bereikbaar was. De vaste fase is geanalyseerd voor de strooisellaag en de bovenste twee minerale lagen. Het bodemvocht is geanalyseerd voor de strooisellaag en voor de eerste en derde minerale bodemlaag. In de vaste fase is een analyse gemaakt van de gehalten aan organische stof en de belangrijkste nutriënten (N en P), van de pH, de CEC en de uitwisselbare kationen en van de oxalaat-extraheerbare gehalten aan Al, Fe en P. In het bodemvocht en het grondwater is een analyse gemaakt van de pH, de elektrische geleiding en de concentraties van alle belangrijke ionen. De resultaten voor de grondwatersamenstelling zijn bovendien verder verwerkt met het programma MAION, waarmee de mate van similariteit met een aantal referentietypen grondwater vastgesteld is.

Alle verkregen variabelen zijn uitgezet als functie van de afzonderlijke milieufactoren. Met behulp van multiple regressie is het fysiotoopmodel getest, is het beste verklarende model gezocht en is voor enkele variabelen ook een invulling gemaakt voor de afzonderlijke fysiotooptypen.

### ***Vaste fasegegevens***

De dikte van de strooisellaag (op de boslocaties) hing vooral samen met de basenrijkdom van de plek: hoe armer hoe dikker, tot 14 cm dikte. De gehalten aan organische stof en nutriënten in, en de bulkdichtheid van in de 'minerale' bodem hingen vooral samen met de grondsoort: organisch vs. mineraal. Het geschatte organischestofgehalte is meer dan 400 g.kg<sup>-1</sup> voor de veengronden en minder dan 100 g.kg<sup>-1</sup> voor de mineral gronden.

Voor de meeste elementen was de voorraad een goed alternatief, omdat deze minder sterk beïnvloed werd door dit verschil.

De N- en P-voorziening hing vooral samen met de basenrijkdom van het grondwater en het vegetatietype. De geschatte C/N-ratio ligt tussen 20 en 30 voor de ombrotrofe fysiotooptypen, rond 15 voor de basenarme typen en nog lager voor de basenrijke (veen-)fysiotopen. Hoge  $Al_{ox}$ -waarden kwamen vooral voor in de zandgronden.  $Fe_{ox}$  en  $P_{ox}$  hingen daarnaast vooral ook samen met de basenrijkdom van het grondwater.

De pH ( $pH(H_2O)$  en  $pH(KCl)$ ) en de bezetting van het adsorptiecomplex hingen sterk samen met de Gt, de basenrijkdom van het grondwater en het vegetatietype. De pH en de basenverzadiging nemen sterk af met oplopende Gt en toe met toenemende basenrijkdom. De geschatte basenverzadiging van de basenrijke fysiotooptypen is hoger dan 80%, in de basenarme type tussen 40% en 80% en in ombrotrofe typen van onder 10% bij Gt VI+ tot nog 70% bij Gt I.

### ***Grondwatergegevens***

De resultaten voor de grondwatersamenstelling zijn mogelijk beïnvloed door het oplopen van de pH tussen de bemonstering en de analyse met gemiddeld 0,5 eenheid. Verder bleek het ontbreken van metingen van de  $HCO_3$ -concentratie een belangrijke tekortkoming, omdat deze uit de ionenbalans onvoldoende betrouwbaar geschat kon worden.

Voor de pH en de concentraties van Ca en Al (en de Al/Ca-ratio) in het grondwater gaf van de onderzochte milieufactoren vooral de basenklasse van het grondwater een verklaring voor de gevonden variatie. De geschatte pH was rond 4,5 in de ombrotrofe fysiotooptypen, rond 5,0 in de basenarme typen en bijna 6,0 in de basenrijke typen. Ook de Ca-concentratie neemt toe, met resp. minder dan  $0,2 \text{ mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$ , rond  $1,0 \text{ mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$  en rond  $2,0 \text{ mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$ , evenals de meeste andere basische kationen. De  $NH_4$ -variabelen hangen vooral samen met de Gt, als gevolg van de geremde nitrificatie onder natte omstandigheden. Voor de  $NO_3$ -concentratie was daarnaast het vegetatietype van belang, met extreem hoge waarden onder maïs (tot  $10 \text{ mol}_c \cdot \text{m}^{-3}$ ). Deze hoge waarden vormden een beperking van de toepasbaarheid van MAION in belaste vegetatietypen.

De similariteit met lithotroof en atmotroof water vertoonde, zoals verwacht, een sterke correlatie met de basenklasse van het grondwater. De similariteit met atmotroof water neemt af en die met lithotroof water toe met toenemende basenrijkdom, evenals trouwens de similariteit met thalassotroof en Rijnwater. De geschatte similariteit met lithotroof water is rond -30% in de ombrotrofe fysiotooptypen, tussen 30% en 75% in de basenarme typen en tussen 40% en 100% in de basenrijke typen. Verder was er een afname met oplopende Gt. Het patroon voor de similariteit met atmotroof water was vrijwel tegengesteld. De resultaten voor de kleigronden gaven aan dat de meeste kleifysiotopen beter in de klasse basenarm gepast hadden.

### ***Bodemvochtgegevens***

Het beste verklarende model varieerde sterk tussen de verschillende bodemvochtvariabelen (de pH en de ion-concentraties en -ratio's). De basenstatus was vooral van belang voor de pH en de Al-concentratie (toename) en de Al/Ca-ratio (afname). De Gt. De pH neemt toe van tussen 4 en 5 in de ombrotrofe fysiotooptypen, tussen 5 en 5,5 voor de basenarme typen tot tussen 5 en 6,5 voor de basenrijke typen. Een vergelijkbare toename is gevonden voor de Ca-concentratie, op een schaal van 0,2 tot 2,0 mol<sub>c</sub>.m<sup>-3</sup>. De NH<sub>4</sub>/K-ratio was daarentegen vooral gecorreleerd met de Gt (met een afname van ruim 2 bij Gt I tot ruim 1 bij Gt VI+) en de grondsoort (met de waarden voor veen ca. 1 eenheid hoger dan voor de minerale gronden). Het vegetatietype was over het algemeen meer van belang dan voor dezelfde variabele in het grondwater, vooral in de bovengrond. De correlatie tussen de waarde in het bodemvocht met die in het grondwater nam dan ook duidelijk toe met de diepte.

### ***Discussie***

De gekozen proefopzet heeft enkele beperkingen opgelegd aan de mogelijkheden tot een betrouwbare statistische analyse. Het aantal gekozen plots was relatief gering in relatie tot het aantal verklarende variabelen en het aantal klassen daarin. Mede hierdoor was het slechts beperkt mogelijk om een afdoende dekking van alle relevant combinaties te selecteren. Ook de verschillende laagindelingen voor de verschillende vegetatietypen vormde soms een belemmering. De statistische verwerking moest relatief eenvoudig gehouden worden, gezien het aantal waarnemingen en de grofheid van sommige predictorvariabelen.

Het fysiotoopmodel was een goed hulpmiddel bij de verklaring van de gevonden variatie. Het ontbreken van verschillende combinaties beperkte echter de mogelijkheid om gegevens op een betrouwbare manier op te schalen. Vooral de schattingen voor niet of weinig voorkomende typen zijn dus minder betrouwbaar. De plaatsing van alle kleigronden in de cluster 'basenrijk' leek op basis van de meeste onderzochte variabelen onterecht. Plaatsing in de cluster 'basenarm' leek meer op zijn plaats, mede gezien de positie in het regionaal-hydrologisch systeem van de meeste potklei- en keileemgronden. Mogelijk zouden de (beekbegeleidende) overstromingskleigronden wel als basenrijk gekenschetst kunnen worden. Voor de chemische samenstelling van gelaagde profielen bood het fysiotoopsysteem in onvoldoende mate mogelijkheden tot opschaling en ook hield het onvoldoende rekening met verschillen in ouderdom van een profiel. Voor de gelaagde profielen is een aanzet gegeven voor het toekennen van waarden op basis van de ongelaagde profielen.

### ***Conclusies***

Het aantal locaties lag aan de benedengrens voor het benodigde aantal

De volgende conclusies kunnen getrokken worden met betrekking tot de 'validatie' van het fysiotoop-model:

1. De gebruikte versie van het fysiotoop-model verschaft een zeer bruikbare klassificatie voor een chemische karakterisering van de bodem en het grondwater.
2. De indeling in basenklasse is voor de meeste variabelen het belangrijkste indelingscriterium, terwijl de toevoeging code voor cultuurdek op basis de beschikbare



gegevens schijnbaar overbodig was.

3. Het vegetatietype is een belangrijke factor voor die variabelen die meer veranderlijk zijn en stek beïnvloed kunnen worden door bemesting en atmosferische depositie.
4. Belangrijkste aanpassing van het fysiotoopmodel die op basis van de verkregen resultaten voorgesteld wordt is de opdeling van de kleigronden over meer klassen in basenrijkdom. Nu zijn alle kleifysiotopen op basis van de mineralogische samenstelling van het moedermateriaal ingedeeld in de klasse 'basenrijk' terwijl ook de kwaliteit van het grondwater in relatie tot het regionale hydrologische systeem een rol speelt. De beekbegeleidende kleigronden worden dan 'basenrijk' en die overige kleigronden (potklei en keileem op de plateaus) 'basenarm' of zelfs 'ombrotroof'.

De volgende conclusies kunnen getrokken worden met betrekking tot de proefopzet:

1. De geselecteerde locaties geven een goede doorsnee van de in het gebied voorkomende abiotische milieu-factoren en vegetatietype, al kunnen door het grote aantal klasse en indelingen lang niet alle combinaties bemonsterd worden, wat onzekerheid introduceert bij de schatting van waarden voor deze combinaties.
2. De toevoeging van de locaties uit de '150 opstanden' en de 'zeven Drentse opstanden' leverde bruikbare additionele gegevens op.
3. De variatie in bemonsterde dieptes leverde belangrijke beperkingen op in de mogelijkheden tot verwerking en interpretatie van alle beschikbare gegevens.

# 1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de resultaten van een inventarisatie van de chemische samenstelling van bodem, grondwater en bodemvocht in het Drentse-Aa-gebied, met als doel het fysiotopenmodel voor dit gebied te toetsen en gegevens te leveren voor parametrisatie en de validatie van de standplaatsmodule van het GREINS-model.

## 1.1 Achtergrond

De hoofddoelstelling van het Natuurbeleidsplan (NBP, 1990) luidt: 'duurzaamheid voor de instandhouding, het herstel en de ontwikkeling van natuurlijke en landschappelijke waarden. Het spontaan (laten) ontwikkelen van (nieuwe) natuur en (nieuwe) bossen (kortweg bos- en natuurontwikkeling) is een belangrijke onderdeel daarvan. Voor het verdiepen van het inzicht in de ecologische factoren die van belang zijn bij (bos- en) natuurontwikkeling is het onderzoekprogramma 'Bos- en Natuurontwikkeling' opgezet.

In het kader van het DLO-deelprogramma 'Natuurontwikkeling' is het model GREINS ontwikkeld. Het model GREINS (Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's) is de koppeling tussen de modellen SIMGRO (hydrologie; Van der Bolt, 1997), SMART2 (chemische samenstelling van bodem en bodemvocht; Kros et al., 1997), VEG en NTM (vegetatie en vegetatie-ontwikkeling; Prins, 1995 en Prins et al., 1996). De uitvoering van de diverse onderdelen is toegespitst op het stroomgebied van de Drentse Aa, waarvoor diverse natuurontwikkelings-scenario's voor de verschillende aspecten doorgerekend worden.

De inventarisatie van de chemische samenstelling van bodem en grondwater valt binnen de standplaatsmodule, waarbinnen de modellering van de standplaatskwaliteit plaatsvindt. Voor de scenariostudies is voor de chemische samenstelling van bodem en bodemvocht gebruik gemaakt van het model SMART2 (Kros et al., 1995; Kros et al., 1998). Hiertoe was het nodig om een inventarisatie uit te voeren van de (actuele) chemische samenstelling van bodem en bodemvocht, ten einde het model te kunnen parametriseren en valideren. De reeds beschikbare gegevens voor de grondwatersamenstelling bleken om verschillende redenen slecht bruikbaar, en daarom is ook de chemische samenstelling van het grondwater vastgesteld.

Reeds in een eerdere studie zijn de standplaatsen in het gebied geklassificeerd en gekarteerd in ruimtelijke eenheden met vergelijkbare abiotische omstandigheden, de zogenaamde fysiotopen (Kemmers & Van der Bolt, 1997; zie ook paragraaf 1.3). De inventarisatie van de chemische samenstelling van bodem, grondwater en bodemvocht is ook gebruikt om een validatie (en zo nodig een verfijning/verbetering) uit te voeren van dit zogenaamde fysiotopmodel.

## 1.2 Doel

De belangrijkste doelen van dit project kunnen gezien de vraag- en probleemstelling dan ook als volgt geformuleerd worden:

- Het opzetten van een data base met gegevens over de chemische samenstelling van bodem, grondwater en bodemvocht, welke representatief zijn voor de in het Drentse-Aa-gebied voorkomende abiotische en biotische milieu-omstandigheden,
- Het vaststellen welke milieufactoren van belang zijn voor het verklaren van de gevonden variatie in de veldwaarnemingen.
- Het verschaffen van een methode om de verkregen gegevens te veralgemeniseren, zodat ze algemeen toepasbaar zijn voor alle in het gebied voorkomende (combinaties van) biotische en abiotische milieu-omstandigheden,
- Het daadwerkelijk verschaffen van opgeschaalde gegevens, welke dan bruikbaar zijn voor de parametrisatie en validatie van de standplaatsmodule van GREINS.
- Het valideren van het fysiotoopenmodel met behulp van de chemische samenstelling van bodem en grondwater, en, indien nodig, het aangeven van mogelijke verbeteringen.

## 1.3 De fysiotooptypologie van het Drentse-Aa-gebied

De fysiotooptypologie voor het Drentse-Aa-gebied van Kemmers en Van der Bolt (1997) vormt de basis voor het abiotische deel van de modellering van de standplaatskwaliteit. Een fysiotoop is een ruimtelijk homogene eenheid van een bepaalde combinatie van onveranderlijke (primaire) standplaatsfactoren. De belangrijkste primaire standplaatsfactoren zijn: klimaat (meso- en macro-klimaat), hydrologie (vooral regionaal en boven-regionaal, zowel de kwalitatieve als de kwantitatieve aspecten) en moedermateriaal. De clustering van vergelijkbare fysiotoopen levert een fysiotooptype. Elk fysiotooptype kan geplaatst worden in een fysiotooptypologie waarin de overeenkomsten en verschillen met andere fysiotooptypen duidelijk worden. De combinatie van een fysiotoop met het actuele vegetatietype of het actuele landgebruik levert een ecotoop. Binnen een fysiotoop kunnen dan ook verschillende ecotopen onderscheiden worden.

Binnen het stroomgebied van de Drentse Aa spelen klimaatverschillen geen rol van betekenis. Deze factor is dan ook niet opgenomen in de fysiotooptypologie. Wel een rol spelen de hydrologie en het moedermateriaal. De hydrologie bepaalt zowel de kwantiteit (de grondwaterhoogtes) als de kwaliteit (basenstatus; inzijging vs. kwel of overstroming) van het grondwater. Binnen het hydrologische systeem bepaalt het moedermateriaal in belangrijke mate mede de chemische en fysische groeiplaatsomstandigheden. Binnen de fysiotooptypologie zijn drie indelingscriteria gehanteerd:

- de grondwaterkwantiteit (of ontwateringstoestand) in vijf klassen welke een vereenvoudiging zijn van de gebruikelijke grondwatertrappen, waarbij vooral in het droge traject klassen zijn samengevoegd;
- de grondwaterkwaliteit in relatie tot de basenstatus van het water, afgeleid uit de bodemvormende processen die ten grondslag liggen aan het bodemtype (kwel, verwerking) in drie klassen van beschikbaarheid van basische mineralen: ombrotroof,

- basenarm en basenrijk (afgeleid van het bodemtype, de Gt en de landschappelijk positie);
- het moedermateriaal afgeleid van de bodemkaart, in drie klassen (veen, zand en klei), waarbij het dominante materiaal in de bovenste 40 cm van het bodemprofiel maatgevend is voor de classificatie.

Het moedermateriaal en de ontwateringstoestand zijn afgeleid van de Bodemkaart schaal 1 : 50 000. Dit is een tamelijk eenvoudige methode, zij het dat de data belast zijn met de onnauwkeurigheden en onzuiverheden die bij een kartering op een dergelijke, relatief grove schaal aan de orde zijn. De basenstatus van het grondwater is afgeleid van het bodemtype, de Gt en de landschappelijke positie op basis van ‘expert judgement’ van de zogenaamde positioneel-hydrologische kenmerken van ieder bodemtype (Kemmers en Van der Bolt, 1997). Dit zijn kenmerken uit het systeem van De Bakker en Schelling (1966) die (deels) samenhangen met de positie van de bodem in het regionaal hydrologische systeem. Doordat de Bodemkaart schaal 1 : 50 000 een belangrijk uitgangspunt vormde bij de opbouw van de fysiotoopenindeling, is eenvoudig een schema te maken waarin alle op de bodemkaart schaal 1 : 50 000 in dit gebied onderscheiden eenheden aan een fysiotoop toegekend kunnen worden (tabel 1). De fysiotooptypen zijn gecodeerd met een drie-cijferige code, bestaande uit een code voor de Gt (1-5), de basenrijkdomklasse (1-3) en de grondsoort (1-3), zonodig aangevuld met een ‘c’ voor de aanwezigheid van een cultuurdek.

*Tabel 1 Indeling en codering van de fysiotooptypen op basis van bodemtype, grondwatertrap en basenstatus van het grondwater (bron: Kemmers en Van der Bolt, 1997)*

Grondwatertrap / GLG		Basenstatus grondwater / Grondsoort						
Gt	GLG (cm -mv)	Ombrotroof		Basenarm		Basenrijk		
		Veen	Zand +/- cultuurdek	Veen	Zand	Veen	Klei	
I	Inundatie < 50	<u>111:</u> Vs	<u>112:</u> -	<u>121:</u> Vz	<u>122:</u> -	<u>131:</u> Vc	<u>133:</u> kVc	
II II*	< 80	<u>211:</u> (i)Vs, aVp, (i)Vp, vWp	<u>212:</u> -	<u>221:</u> aVz, Vz, vWz, AB, ABV	<u>222:</u> pZg	<u>231:</u> aVc, Vc, zVc	<u>233:</u> hVc, hVz, pVc	
III III*	< 120	<u>311:</u> zVs, zVp,	<u>312:</u> zWp, Hn	<u>321:</u> aVz, Vz,	<u>322:</u> pZn, zWz,	<u>331:</u> aVc, (i)Vc	<u>333:</u> hVc, hVz,	
IV		vWp, Vs, iVp, iVs		vWz, zVz, iVz	pZg		pVc, kVc, kVz, KX	
V V*	> 120	<u>411:</u> (i)Vp, vWp	<u>412:</u> Hn, Zn, zWp	<u>412c:</u> cHn	<u>421:</u> aVz, vWz, iVz	<u>422:</u> pZn, pZg, zWz	<u>431:</u> aVc	<u>433:</u> KX
VI VII VIII	> 120	<u>511:</u> vWp, zVz	<u>512:</u> zWp, Hn, Y, Hd, Zn, Zd, Zb	<u>512c:</u> cY, cHn, cHd, zEZ	<u>521:</u> vWz, iVz	<u>522:</u> zWz, pZg, pZn	<u>531:</u> -	<u>533:</u> KX

Voor enkele combinaties zijn geen bodemcodes toegekend, omdat deze volgens de 1 : 50 000 bodemkaart niet voorkomen in het gebied (zoals diverse combinaties met Gt I). De aanwezigheid van een cultuurdek op zandgronden wordt uitsluitend onderscheiden voor zandgronden met ombrotroof grondwater met Gt V en droger. ‘Basenrijke

zandgronden' zijn niet onderscheiden omdat dergelijke fysiotopen in het gebied niet voorkomen. Alle kleigronden zijn als basenrijk beschouwd vanwege hun mineralogische samenstelling. Een meer gedetailleerde verantwoording voor deze toekenningen is te vinden in Kemmers en Van der Bolt (1997). Een verdere discussie over enkele knelpunten is te vinden in hoofdstuk 6.

#### **1.4 Opbouw van dit rapport**

Hoofdstuk 2 (Materiaal en methoden) geeft een overzicht van de selectieprocedure van de locaties, van de bemonsteringsstrategie en de bemonsteringswijze van de zowel de minerale bodem en de strooisellaag, als het hieruit verkregen bodemvocht en het grondwater, van de chemische analyses en van de opzet van de dataverwerking. De hoofdstukken 3 (Chemische samenstelling van de vaste fase), 4 (Chemische samenstelling van het freatische grondwater) en 5 (Chemische samenstelling van het bodemvocht) geven een overzicht van de resultaten voor de drie in de titels genoemde 'compartimenten' (minerale bodem, grondwater en bodemvocht). De bodemvochtsamenstelling wordt in dit kader als gezien als het sterkst beïnvloede compartiment, waarvan de samenstelling mede afhangt van die van de minerale fase en het grondwater. Binnen deze hoofdstukken wordt telkens voor een homogene groep variabelen een overzicht gegeven van (i) de algehele variatie, (ii) de variatie als functie van de afzonderlijke indelingscriteria (basenrijkdomklasse van het grondwater, grondwatertrap, grondsoort en vegetatietype) en (iii) de relatie met het gehele fysiotopmodel. Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van discussiepunten. Hoofdstuk 7, tenslotte, geeft een overzicht van de belangrijkste conclusies, welke uit de resultaten van dit onderzoek voortvloeien.

## **2 Materiaal en methoden**

### **2.1 Selectie van de locaties**

#### **2.1.1 Procedure en criteria**

De inventarisatie van de chemische samenstelling van bodem en grondwater in het onderzoeksgebied is uitgevoerd met 50 bemonsterde locaties, aangevuld met gegevens voor 13 locaties uit eerdere onderzoeken. Het aantal van 50 bemonsterde locaties is gebaseerd op enerzijds een minimum aantal locaties om een representatief beeld van het gebied te krijgen en anderzijds een maximaal aantal locaties dat vanuit organisatorisch en financieel oogpunt mogelijk was.

De selectie van de 50 bemonsterde locaties is tot stand gekomen door de min of meer willekeurige selectie van 'geschikte' punten uit de overlay van de fysiotoopenkaart (Kemmers en Van der Bolt, 1997) over de vegetatiekaart van de provincie Drente (Roos, 1992). De zo geselecteerde locaties werden beschouwd als een voorlopige selectie. In het veld is gecheckt of het fysiotooptype en het vegetatietype overeenkwamen met die van de kaart. Wanneer de locatie volgens de nieuwe (geconstateerde) niet paste bij de reeds geselecteerde locaties, is deze locatie niet bemonsterd. Wanneer deze daar wel bij paste, is deze met de nieuwe klassificatie daaraan toegevoegd en bemonsterd. Dit heeft ertoe geleid, dat er enkele locaties geselecteerd zijn, met een fysiotooptype dat volgens het systeem (Kemmers en Van der Bolt, 1997; tabel 1) 'toegestaan' is, maar volgens de kaart oppervlakte 0 heeft.

Een vergelijkbare benadering was nodig voor de klassificatie van het vegetatietype. De gebruikte vegetatiekaart was nogal verouderd, omdat de opnamen ervoor in de periode 1974-1978 waren uitgevoerd. Een meer recente vegetatiekaart, zoals die in andere delen in deze serie gebruikt is (Prins, 1995), was ten tijde van de selectie van monsterpunten en de veldopnames nog niet beschikbaar. In het veld is daarom geverifieerd of het verwachte vegetatietype nog aanwezig was. Zonodig is de klassificatie van de plek aangepast, zodat in de verwerking wel het juiste type gehanteerd is. Deze correctie was relatief eenvoudig uit te voeren omdat de gekozen klassen eenvoudig van elkaar te onderscheiden waren.

De selectie is geconcentreerd op het gebied rond de middenloop en op de beekdalen en de flanken van de beekdalen. Vanuit het oogpunt van natuurontwikkeling zijn deze gebieden het interessantst, omdat gedeelten van dit gebied al voldoen aan het streefbeeld en omdat de beoogde natuurontwikkeling mogelijk in dit gebied geconcentreerd gaat worden. De meeste punten (ongeveer de helft) liggen in het gebied van de middenloop. Dit is het gebied rond de zogenaamde 'vork' van de Oudenmolensche Diep en de Gasterensche Diep. De resterende punten liggen in het gebied van de benedenloop (ten noorden van 'de vork') en de bovenloop (ten zuiden van 'de vork'). Ongeveer de helft van de punten op natte locaties (Gt III en natter). Dit is duidelijk meer dan de het aandeel van deze locaties in de oppervlakte van het gebied, omdat deze groepen het meest interessant is vanuit het oogpunt van natuurontwikkeling. De hoger gelegen

locaties zijn slechter vertegenwoordigd dan op grond van hun aandeel in het totale oppervlak van het stroomgebied verwacht kan worden, mede omdat in eerdere studies al uitgebreid onderzoek gedaan is naar de chemische samenstelling van de zand- en zand-op-keileemgronden van de relatief uitgestrekte boswachterijen in het zuiden en oosten van het gebied (De Vries en Leeters, 1998; De Vries, 1994). De gegevens van deze locaties zijn bij de data-analyse toegevoegd. Deze locaties worden verder aangeduid als 'oude' locaties en bestaan uit elf locaties uit de landelijke inventarisatie van 150 bosopstanden in 1990 ('150 bosopstanden'; De Vries en Leeters, 1998) en twee locaties uit een inventarisatie van zeven opstanden in Drenthe in 1992 ('7 opstanden'; De Vries, 1994).

Een terreintype waarin in het geheel geen locaties geselecteerd zijn, zijn de veel in het gebied voorkomende dobbes met de daarin voorkomen vennen of veentjes en hun specifieke vegetatietypen en vegetatiezonering. Deze dobbes hebben namelijk een nogal op zichzelf staand, lokaal hydrologisch systeem, dat een veel sterkere invloed op de vegetatie en op de lokale bodemvorming heeft dan het regionale hydrologische systeem. Verschillende vegetatietypen (gagelstruwelen, bijvoorbeeld) zijn dan ook specifiek gebonden aan deze dobbes.

Er is gestreefd naar een gelijkmatige verdeling van de locaties over de verschillende klassen uit de verschillende classificaties van het Drentse-Aa-gebied. De indelingen van het abiotische milieu zijn daarbij afgeleid van de fysiotopenindeling. Het streven was om twee of meer locaties te clusteren in een transect dwars op de beek. Dit is slechts in enkele gevallen gelukt. De gekozen klassen vormen de basis voor de gedetailleerde weergave van de resultaten in de hoofdstukken 3, 4 en 5 en voor de statistische verwerking ervan. De gebruikte indelingscriteria zijn:

- de hydrologische situatie (= ontwateringstoestand), verdeeld in dezelfde vijf grondwatertrappen die ook voor de opbouw van het fysiotopensysteem gebruikt zijn, te weten: Gt I, Gt II+II\*, Gt III+III\*+IV, Gt V+V\* en Gt VI+VII+VIII; deze indeling wijkt af van de meer gebruikelijke indeling in vijf klassen, zoals die in LKN (De Waal, 1992) gehanteerd wordt;
- het moedermateriaal (= de grondsoort), verdeeld over de klassen veen, zand en klei;
- de basenstatus van het grondwater, in drie klassen: ombrotroof, basenarm en basenrijk;
- de vegetatietypen, verdeeld in negen vegetatie- of landgebruikstypen: donker naaldbos (spar en douglas), licht naaldbos (den en lariks), loofbos (eik, berk, els, etc.), heide, jeneverbesheide (heide met jeneverbes- of bremstruwelen), drie typen grasland, te weten de twee hoofdtypen graslandvegetaties die op de vegetatiekaart worden onderscheiden (de door de aanwezigheid van zeggesoorten (*Carex* spp) getypeerde graslanden of 'C'-graslanden en graslanden zonder zeggesoorten, de 'G'- (= gras- of *Gramineeën*-) graslanden), beide extensief beheerd, aangevuld met enkele min of meer regulier (= intensief) beheerde (cultuur)graslanden (regelmatig bemest en/of intensief beweide) en maïsland (zwaar bemest).



*Fig. 1 Impressie van grasland op moerige zandgrond langs de bovenloop van de beek (Anloër Diepje; locatienummer 49)*



*Fig. 2 Impressie van grasland op veen (midden) en grasland op moerige zandgrond (voorgrond) in de bovenloop van de beek (Schipborg Diep). Het bos op de achtergrond staat op de overgang naar hogere (zand)gronden.*





*Fig. 3 Impressie van grasland op veen in de benedenloopse vlakte (Schipborgdiep)*



*Fig. 4 Impressie van een bosje op de flank van een beekdal (bij Tynaarlo; locatienummer 38)*

De verdelingen over de abiotische klasse-indelingen kunnen worden terugvertaald naar een verdeling van de locaties over de onderscheiden fysiotoopen, omdat ieder fysiotoop uit een unieke combinatie van Gt, moedermateriaal en basenstatus bestaat. Verder kan een vergelijking van de verschillen in de verdeling over de vegetatietypen binnen de onderscheiden klassen aangeven welke interacties (in statistische zin) er bestaan. Bij de indeling in vegetatietypen is doelbewust een (voor 50 locaties) groot aantal klassen onderscheiden. De gemiddelde omvang van deze klassen is daardoor slechts 6 locaties. Wel is daarnaast gewerkt met een grovere indeling in structuurtype en een tweedeling in meer en minder met bemesting of atmosferische depositie belaste typen, waarvan de resultaten niet gepresenteerd worden.

Een belangrijke beperking van het aantal beschikbare locaties is, dat het gehele te bemonsteren profiel uit hetzelfde moedermateriaal moeten bestaan. Afhankelijk van het vegetatietype is deze laag 60 of 100 cm (paragraaf 2.2). Een aanzienlijk deel van het gebied valt dus af. Het betreft hierbij vooral veen-op-zandgronden en zandgronden met een moerige tussenlaag. Deze veengronden en moerige gronden worden in het fysiotoopen-systeem respectievelijk geklassificeerd als veen- en zand-fysiotoop, maar hebben binnen enkele decimeters een afwijkend moedermateriaal. Overigens moeten deze bodems op niet-natte locaties beschouwd worden als een relict (Hoofdstuk 6). Verder omvat deze groep de keileemgronden met zanddek ('kleigronden' bij samengestelde eenheden of in geval van een dun zanddek en 'zandgronden' bij zandgronden met een keileem-ondergrond) en de veengronden met een kleidek ('kleigronden'). Een mogelijke behandeling van gelaagde profielen komt in hoofdstuk 6 aan de orde.

### **2.1.2 Resulterende verdeling over de abiotische klasse-indelingen en de vegetatietypen**

In de hierna volgende paragrafen wordt een overzicht gegeven zijn de verdeling van de 63 (50 nieuwe en 13 oude) geselecteerde locaties over de afzonderlijke klassen in de verschillende indelingen van het abiotische milieu (grondwatertrappen, basenstatus van het grondwater en moedermateriaal) en de vegetatie. De gebruikte klassen zijn gebaseerd op de vooraf aangenomen indelingen, welke in het veld geverifieerd en zonodig gecorrigeerd zijn. De indelingen van de afzonderlijke abiotische factoren worden bovendien gecombineerd in de verdeling over de verschillende onderscheiden fysiotooptypen. Een gedetailleerd overzicht van de verdeling van de vegetatietypen over alle onderscheiden fysiotooptypen is gegeven in tabel A-2 in aanhangsel 1.

#### **2.1.2.1 Vegetatietypen**

De verdeling van de 63 locaties over de onderscheiden vegetatie- en landgebruikstypen is gegeven in tabel 2. De verschillende vegetatietypen zijn gegroepeerd in vegetatiestructuurgroepen. De boslocaties zijn enigszins oververtegenwoordigd, doordat de locaties uit de '150 opstanden' en de '7 Drentse opstanden' later toegevoegd zijn, terwijl er al 'nieuwe' bosopstanden bemonsterd waren. Eén van de lichte naaldhoutopstanden is een gemengde opstand met dominantie van naaldsoorten. De twee locaties met 'heide-met-jeneverbes' zijn heidelocaties met een respectievelijke bedekking met jeneverbes

van 30 en 60%. Geschikte locaties met zuivere jeneverbesstruwelen of met brem- of gageelstruweel konden niet gevonden worden.

Naast de indeling in negen vegetatietypen en vier vegetatiestructuurgroepen, wordt de vegetatietypen bij de analyse van de meetgegevens ook een indeling in meer en minder belaste vegetatietypen gehanteerd (tabel 2). Deze indeling is bedoeld om het effect van de – onnatuurlijke – belasting met meststoffen en atmosferische depositie duidelijk te maken en om voor de voorspelde waarden per fysiotoop te kunnen selecteren op de minder belaste vegetatietypen. De groep met ‘meer belaste’ vegetatietypen omvat de donkere naaldbossen (atmosferische depositie), de ‘intensief gebruikte’ graslanden en de maïslanden (bemesting). Binnen de ‘structuurtypen’ bos en grasland komen zowel meer belaste en minder belaste typen voor, die de basis vormen voor de effectbepaling van de belasting met bemesting en depositie.

De kaarten van de figuren 1 en 2 geven een overzicht van de verspreiding van de geselecteerde punten (fig. 1; zowel de nieuw geselecteerde als de toegevoegde oude) en ter vergelijking de verspreiding van de vegetatietypen over het gebied volgens een meer recente kartering dan die de grondslag vormde voor de selectie van de monsterpunten (fig. 2).

*Tabel 2 Verdeling van de locaties over de vegetatietypen en clusters van vegetatietypen*

Vegetatietype <sup>1)</sup>	Aantallen				Clustering					
	Nieuw	Oud-1 <sup>2)</sup>	Oud-2 <sup>3)</sup>	Totaal	Structuurtype <sup>4)</sup>				Terreintype <sup>5)</sup>	
					S1	S2	S3	S4	T1	T2
Donker naaldbos	3	1	4	8	X	-	-	-	-	X
Licht naaldbos	4	1	5	10	X	-	-	-	X	-
Loofbos	6	0	2	8	X	-	-	-	X	-
Heide	10	0	0	10	-	X	-	-	X	-
Heide-met-jeneverbes-struwelen	2	0	0	2	-	X	-	-	X	-
Jeneverbes-struwelen	0	0	0	0	-	X	-	-	X	-
Overige struwelen	0	0	0	0	-	X	-	-	X	-
Ext. grasland (zeggetypen: ‘C’)	13	0	0	13	-	-	X	-	X	-
Ext. grasland (grastypen: ‘G’)	6	0	0	6	-	-	X	-	X	-
Intensief gebruikt grasland	4	0	0	4	-	-	X	-	-	X
Maïsland	2	0	0	2	-	-	-	X	-	X
Overig bouwland	0	0	0	0	-	-	-	X	-	X
<b>Totaal aantal</b>	<b>50</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>63</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>23</b>	<b>2</b>	<b>49</b>	<b>14</b>

<sup>1)</sup> Gebaseerd op een vereenvoudigde indeling van de vegetatiekaart voor de provincie Drenthe (Roos, 1992; opnames: 1974-1978)

<sup>2)</sup> Oud-1 = 2 van de ‘7 bosopstanden Drenthe’ (De Vries, 1994)

<sup>3)</sup> Oud-2 = 11 van de ‘150 bosopstanden Nederland’ (De Vries en Leeters, 1998)

<sup>4)</sup> Legenda: S1 = bos, S2 = heide+struweel, S3 = grasland, S4 = (maïs)akker

<sup>5)</sup> Legenda: T1 = (half)natuurlijke vegetatietypen (‘natuur’), T2 = sterk beïnvloede vegetatietypen (‘cultuur’)

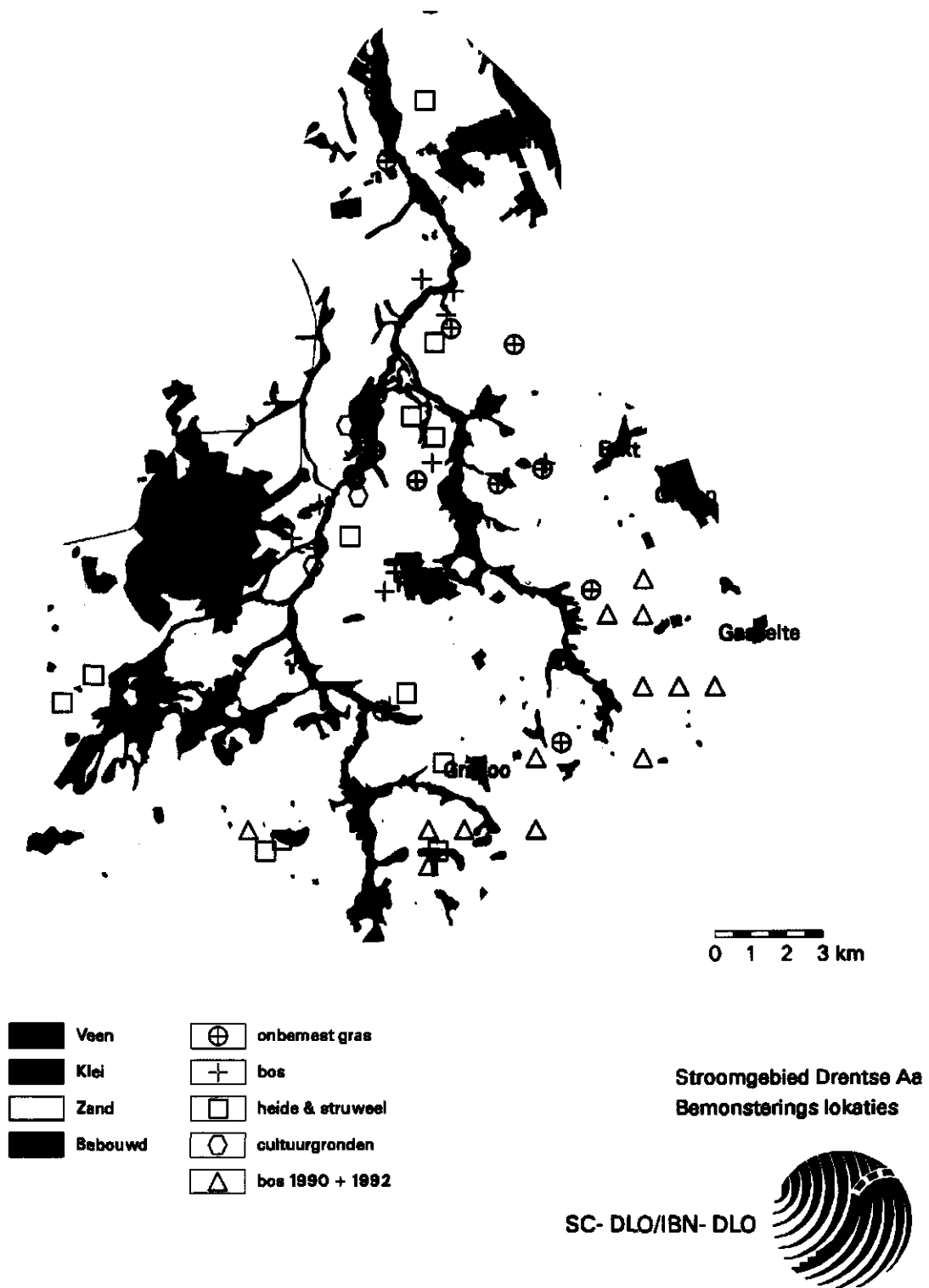
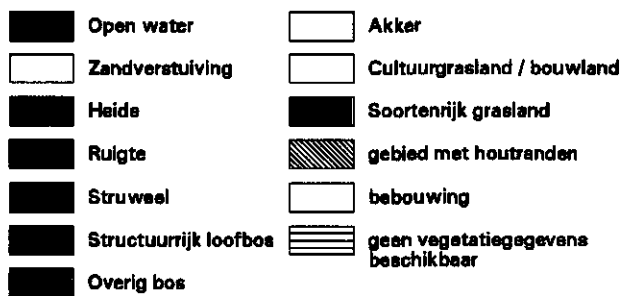
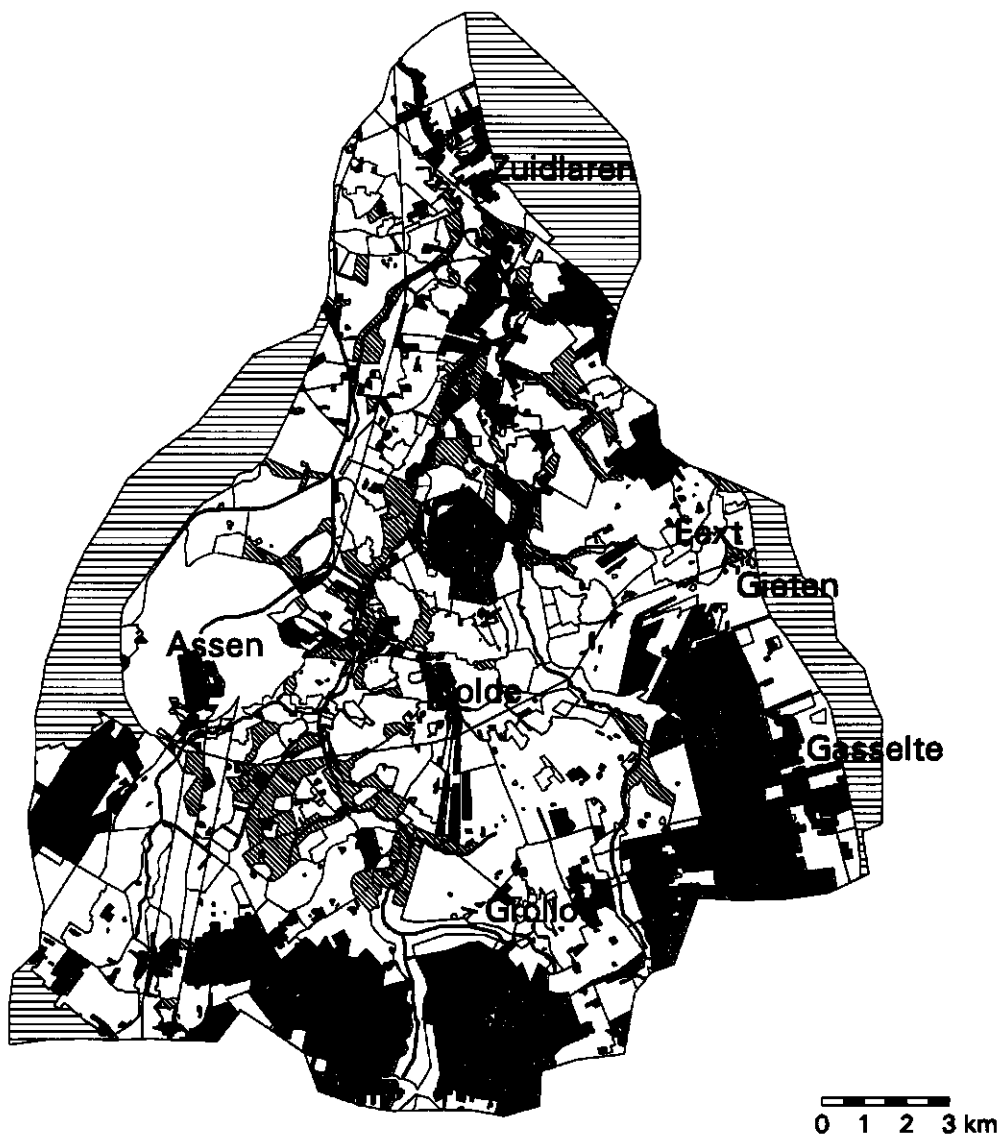


Fig. 5 Verspreiding van de geselecteerde locaties over het Drentse-Aa-gebied



Stroomgebied Drentse Aa  
Vegetatiestructuren 1995

SC- DLO/IBN- DLO



Fig. 6 Verspreiding van de vegetatietypen over het Drentse-Aa-gebied

### 2.1.2.2 Grondwatertrappen

De verdeling van de 63 locaties over de klassen in de ontwateringstoestand (grondwatertrappen) en de verdeling van de verschillende vegetatietype over deze klassen, is gegeven in tabel 3.

Uit deze verdeling blijkt dat de 'natte' locaties (Gt III-IV en natter) relatief veel sterker vertegenwoordigd zijn dan het aandeel dat ze in de oppervlakte van het stroomgebied hebben (tabel 3). Verder valt op dat er vier locaties geselecteerd zijn met Gt I, terwijl deze op de bodemkaart niet voorkomen. Twee hiervan zijn hoogveenlocaties in recente vernattingsprojecten en de andere twee liggen in slecht toegankelijke delen van grotere vlakken met Gt II, vermoedelijk onzuiverheden binnen de kaartvlakken. De klasse Gt IV/V en Gt VI-VIII zijn minder sterk vertegenwoordigd dan in het gebied zelf, vooral wanneer alleen de nieuw geselecteerde locaties beschouwd worden. Het betreft hier echter over het algemeen tamelijk uniforme hoog gelegen zandgronden die met een geringere monsterdichtheid goed getypeerd kunnen worden. Dit in tegenstelling tot de heterogene, vaak duidelijk gezoneerde gronden in en langs de beekdalen. De klasse III-IV bevat overigens uitsluitend locaties met Gt III.

Tabel 3 Verdeling van de locaties per vegetatietype over de grondwatertrappen

Vegetatietype	Drentse Aa grondwatertrappen					LKN grondwatertrappen				
	I	II-II*	III-III*- IV	V-V*	VI-VII- VIII	'1'	'2'	'3'	'4'	'5'
Donker Naaldbos	-	-	1	1	6	-	-	2	2	4
Licht Naaldbos	-	-	-	1	9	-	-	1	1	8
Loofbos	1	-	3	1	3	1	-	4	2	1
Heide	2	2	2	1	3	2	2	3	3	-
Jeneverbesheide	-	-	-	-	2	-	-	-	2	-
Ext. grasland 'C'	-	6	4	2	-	-	6	6	-	-
Ext. grasland 'G'	1	3	1	-	1	1	3	1	-	1
Int. grasland	-	1	-	4	-	-	1	4	-	-
Maisakker	-	-	-	1	1	-	-	1	1	-
Totaal <sup>1)</sup>	4	12	11	11	25	4	12	22	11	14
	(0,0)	(2,8)	(11,5)	(26,3)	(59,1)					

<sup>1)</sup> De werkelijke verdeling (in procenten) in het gebied is tussen haakjes toegevoegd.

De geselecteerde boslocaties concentreren zich in de droogste gebieden (tabel 3). Dit geldt met name voor de naaldbossen en voor de toegevoegde locaties. Binnen de loofbossen zijn de natte bossen en de broekbossen te vinden bij Gt III+IV en natter. Bij Gt V en droger bevat deze groep de droge eikenberkenbossen. De heidelocaties komen min of meer gelijkmatig verspreid over de grondwatertrappen voor. De locaties met jeneverbes komen echter alleen op de alldroogste locaties voor. De graslanden concentreren zich in het middengebied. De beide uitersten zijn resp. te nat en te droog voor een 'normaal' graslandgebruik. De maislocaties, tenslotte, bevinden zich in de droge helft.

De verdeling over de grondwatertrappen cf. LKN (De Waal, 1992) wijkt niet veel af van die welke in de Drentse-Aa-studie gehanteerd wordt (Kemmers en Van der Bolt, 1997). Voor de meest vegetatietypen is een geringe verschuiving te zien van de 5<sup>e</sup> klasse naar de 4<sup>e</sup> en de 3<sup>e</sup> klasse (tabel 3).

### 2.1.2.3 Basenstatus van het grondwater

De verdeling van de 63 locaties over de drie klassen in de basenrijkdom van het grondwater en de verdeling van de vegetatietypen over deze klassen is gegeven in tabel 4. Ook hier wijkt de verdeling weer af van de verdeling van de aandelen van de verschillende klassen in het gebied, met een duidelijke oververtegenwoordiging van de klasse basenrijk, ondanks dat het slechts tien locaties betreft. De toegevoegde locaties vallen alle in de klasse ombrotroof, wat het grote (absolute) aantal verklaart.

De verdeling over de klassen in de basenstatus van het grondwater laat zien dat de naaldbossen, de heidelocaties (met en zonder jeneverbes) en de maïsakker zich concentreren in ombrotrofe fysiotopten (tabel 4). Ook de loofbossen hebben hun hoogtepunt in deze klasse, maar een aanzienlijk deel komt ook voor in meer basenrijke fysiotopten. Dit betreft vooral de broekbossen. De graslanden zijn min of meer gelijkmatig verdeeld over de klassen, met een lichte concentratie in de middelste, basenarme, klasse. Binnen de graslanden in de gepresenteerde volgorde is een lichte verschuiving van meer basenrijk naar meer ombrotroof.

*Tabel 4 Verdeling van de locaties per vegetatietype over de klassen in basenstatus van het grondwater*

Vegetatietype	Basenstatus van het grondwater		
	ombrotroof	basenarm	basenrijk
Donker Naaldbos	7	1	-
Licht Naaldbos	10	-	-
Loofbos	4	1	3
Heide	10	-	-
Jeneverbesheide	2	-	-
Ext. grasland 'C'	2	5	5
Ext. grasland 'G'	2	3	1
Int. grasland	3	1	1
Maïsakker	2	-	-
Totaal <sup>1)</sup>	42 (81,1)	11 (16,1)	13 (2,9)

<sup>1)</sup> De werkelijke verdeling (in procenten) in het gebied is tussen haakjes toegevoegd.

### 2.1.2.4 Moedermateriaal (grondsoort)

De verdeling van de 63 locaties over de drie klassen in het moedermateriaal en de verdeling van de vegetatietypen over deze klassen is gegeven in tabel 5. In deze verdeling zijn de veen- en kleigronden oververtegenwoordigd ten opzicht van het aandeel van deze gronden in het gebied.

De klasse 'veen' omvat zowel hoogveen als beekbegeleidend laagveen. De klasse 'zand' (waarin alle 13 'oude' locaties vallen) omvat met name de dekzanden, de stuifzanden en de pre-morenale zanden, met en zonder bodemontwikkeling (podzolgronden, zand-vaaggronden en minerale zandeerdgronden). De klasse 'klei' omvat uitsluitend (dag-zomende) potklei. Geschikte locaties op keileem konden niet gevonden worden: meestal zijn deze gronden bedekt met (dek)zand of is de bovengrond sterk vermengd met zand; ook beekleemgronden zijn niet aangetroffen: deze bevinden zich vermoedelijk voornamelijk in het benedenstroomse gebied ten noorden van het onderzoeksgebied; op de fysiotopenkaart bevinden ze zich langs het gedeelte van de Hunze dat binnen het gekarteerde gebied valt.

De vegetatietypen komen ongelijk verdeeld over de grondsoorten voor, en omgekeerd. De bossen, de hei-met-jeneverbes-locaties en de maïsakkers zijn geconcentreerd op de zandgronden (tabel 5). Alleen de loofbossen komen ook voor op veen- en kleigronden. De heide- en graslocaties zijn min of meer gelijk verdeeld over de zand- en veengronden. De locaties met heide op veengrond betreffen voornamelijk hoogveenlocaties, terwijl de graslanden op veen voornamelijk beekbegeleidende graslanden zijn. De locaties met heide op zandgrond zijn de eigenlijke heidevelden.

Tabel 5 Verdeling van de locaties per vegetatietype over de grondsoorten

Vegetatietype	Grondsoort			
	veen	zand +/- cultuurdek	klei	
Donker Naaldbos	-	7	1	-
Licht Naaldbos	-	10	-	-
Loofbos	1	4	1	2
Heide	5	5	-	-
Jeneverbesheide	-	2	-	-
Ext. grasland 'C'	5	6	-	1
Ext. grasland 'G'	3	3	-	-
Int. grasland	1	3	-	1
Maïsakker	-	1	1	-
Totaal <sup>1)</sup>	15 (14,8)	41 (75,1)	3 (8,8)	4 (1,4)

<sup>1)</sup> De werkelijke verdeling (in procenten) in het gebied is tussen haakjes toegevoegd.

Zandgrond is de enige grondsoort die onder alle vegetatietypen voorkomt (tabel 5). De kleigronden zijn gelijk verdeeld over de bossen en de graslanden. Veengronden ontbreken in combinatie met de naaldbossen, de jeneverbesheide en de maïsakkers.



### 2.1.2.5 Fysiotopen

De combinatie van de indelingen naar de afzonderlijke abiotische factoren levert de verdeling op van de locaties over de fysiotopen. Tabel 6 geeft een overzicht van deze verdeling en een vergelijking met de werkelijke verdeling van de fysiotopen over het gebied. De kaart van figuur 3 geeft de ruimtelijke verspreiding van deze fysiotopen, zoals deze uit de bodemkaart 1 : 50 000 afgeleid zijn. De verdere verdeling van de aantallen per fysiotop over de vegetatietypen is gegeven in tabel A-2 in aanhangsel 1.

Tabel 6 Verdeling van de locaties over de fysiotopen<sup>1)</sup>, vergeleken met de actuele aandeel van de fysiotopen in het gebied (cf. Kemmers en Van der Bolt, 1997)

Gt-groep	Basenstatus / Moedermateriaal						
	Ombrotroof			Basenarm		Basenrijk	
	veen	zand +/- c.dek		veen	zand	veen	klei
I	2 (-)	- (-)		1 (-)	- (-)	1 (-)	- (-)
II-II*	2 (0,6)	- (-)		2 (1,0)	3 (-)	5 (1,2)	- (-)
III-III*-IV	1 (0,7)	4 (0,3)		1 (7,9)	4 (1,8)	- (0,3)	1 (0,5)
V-V*	- (2,1)	8 (17,9)	- (0,1)	- (0,1)	- (5,2)	- (-)	3 (0,9)
VI-VII-VIII	- (0,9)	22 <sup>1)</sup> (49,8)	3 <sup>1)</sup> (8,7)	- (<0,1)	- (0,1)	- (-)	- (<0,1)

<sup>1)</sup> De verdeling binnen ieder fysiotoptype over de verschillende vegetatietypen is gegeven in tabel A-2 in aanhangsel 1.

<sup>2)</sup> Waarvan 12 (van de 22) en 1 (van de 3) uit de toegevoegde 'oude' locaties.


De meeste fysiotoptypen die in de fysiotopentypologie voor het Drentse-Aa-gebied worden onderscheiden zijn ook terug te vinden in de verdeling van de locaties. Doordat sommige fysiotopen niet aangetroffen zijn of niet geschikt waren, ontbreken er ook enkele. Verder zijn er ook fysiotopen aangetroffen en bemonsterd, die volgens de fysiotopen-indeling niet of nauwelijks voorkomen. De belangrijkste daarvan zijn de fysiotopen met Gt I.

Ten behoeve van een evenwichtige verdeling van de locaties, is het aandeel zandfysiotopen en het aandeel droge fysiotopen geringer dan in werkelijkheid. Toch zijn de fysiotopen 412 en 512 (zandgronden met ombrotroof grondwater en Gt V of droger) de grootste in aantallen locaties. Dit is echter het gevolg van het feit dat de Gt-klasse V-V\* grotendeels en de Gt-klasse VI-VII-VIII volledig uit ombrotrofe zandgronden bestaan en omdat de toegevoegde oude locaties alle tot deze klassen behoorden. De eerstgenoemde klasse bevat ook nog enkele (basenrijke) kleigronden. De veengronden in beide klassen waren te ondiep (d.w.z. het moedermateriaal was niet homogeen over de bovenste 60 of 100 cm) om geselecteerd te worden. Bovendien is het de vraag of dergelijke ondiepe, droge veengronden passen binnen het fysiotopconcept (zie ook hoofdstuk 6).



0 1 2 3 km

Gt	GLG	Ombrotroof		Basenarm		Basenrijk	
		Veen	Zand	Veen	Zand	Veen	Klei
II/II*	50-80						
III/III*/IV	80-120						
V/V*	> 120						
VI/VII/VIII	> 120						
			412		531		533
			512				

 cultuurdek

Stroomgebied Drentse Aa  
Fysiotopenkaart

SC- DLO/IBN- DLO



Fig. 7 Verspreiding van de fysiotopen over het Drentse-Aa-gebied

## 2.2 Bemonstering en selectie van variabelen

### 2.2.1 Indeling in lagen

Bij de bemonstering is zoveel mogelijk aangesloten bij bestaande laagindelingen voor bodemonderzoek in bos- en natuurterreinen (o.a. De Vries en Leeters, 1998). Daarnaast moest rekening gehouden worden met een beperkte verwerkingscapaciteit voor monsters en met de laagindelingen van de toegevoegde locaties uit eerdere onderzoeken. Een volledige laagindeling gaat uit van vier bodemlagen, naast de strooisellaag en het grondwater, te weten 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm en 60-100 cm.

De strooisellaag is altijd bemonsterd op locaties met bos, heide of struweel, als deze in voldoende mate aanwezig was (tabel 7). Van de strooisellaag is voor de 'nieuwe' locaties zowel de samenstelling van de vaste fase als de samenstelling van de vloeibare fase bepaald. Voor de toegevoegde 'oude' locaties zijn echter alleen gegevens over de vaste fase bekend. Het grondwater is bemonsterd als dit binnen een bemonsterbare diepte (binnen zo'n 200 cm - mv.) kon worden aangetroffen en zowel op de 'nieuwe' als op de 'oude' locaties.

Tabel 7 De geselecteerde lagen voor de bemonstering van de vaste en de vloeibare fase

Diepte	Bemonstering/meting vaste fase				Bemonstering/meting waterfase			
	Nieuw (laag <sup>1)</sup> )	Nieuw (opgaand <sup>2)</sup> )	Oud-1 <sup>3)</sup>	Oud-2 <sup>4)</sup>	Nieuw (laag)	Nieuw (opgaand)	Oud-1 <sup>3)</sup>	Oud-2 <sup>4)</sup>
Strooisel <sup>5)</sup>	0	0	0	0	0	0		
0 - 10 cm								
10 - 20 cm								
20 - 30 cm								
30 - 40 cm								
40 - 50 cm								
50 - 60 cm								
60 - 70 cm								
70 - 80 cm								
80 - 90 cm								
90 - 100 cm								
Grondwater <sup>7)</sup>								

<sup>1)</sup> Lage (ondiep wortelende) vegetaties = gras en heide

<sup>2)</sup> Opgaande (diep wortelende) vegetaties = bos, struweel en maïs

<sup>3)</sup> Oud-1 = 2 van de '7 bosopstanden Drenthe' (De Vries, 1994)

<sup>4)</sup> Oud-2 = 11 van de '150 bosopstanden Nederland' (De Vries en Leeters, 1998)

<sup>5)</sup> Extra voorwaarden: onder bos, hei of struweel én van een bemonsterbare dikte

<sup>6)</sup> Vaste fase van laag 60-100 cm voor '7 bosopstanden' beschouwd als laag 2 en bodemvocht als laag 3

<sup>7)</sup> Extra voorwaarde: binnen bereik van een standaard pompslang ( $\pm 200$  cm)

Op de nieuw geselecteerde locaties met een korte vegetatie zijn de eerste drie genoemde lagen bemonsterd (tabel 7). Bij opgaande vegetatie is de gehele bovenste meter bemonsterd, maar zijn de eerste twee lagen tezamen bemonsterd als één laag

(0-30 cm). Voor alle locaties zijn de bemonsterde lagen genummerd van laag 1 tot laag 3, waarbij de minerale fase geanalyseerd is in de monsters van de lagen 1 en 2 en de vloeibare fase (het bodemvocht) in laag 1 en 3. De lagen 1 en 2 worden hierbij beschouwd als het bovenste en onderste deel van de wortelzone en laag 3 als de onderzijde van het bodemsysteem (de 'ondergrond'). Hoe de gegevens uit corresponderende lagen (gelijke nummers) vergeleken zijn, wordt in paragraaf 2.4 verklaard.

De laagindeling van de elf locaties uit de '150 opstanden' is dezelfde als in dit onderzoek gehanteerd voor de opgaande vegetaties, zij het dat de vaste fase alleen in laag 1 gemeten is. Op de twee locaties uit het 'Drente'-onderzoek ('Oud-1'; De Vries, 1994) valt de diepte van de bepaling van de vaste fase in de diepere laag samen met die van het bodemvocht, namelijk op 60-100 cm diepte. Verder is de eerste laag in dat onderzoek maar 10 cm dik. Deze verschillen hebben een extra problemen bij de vergelijkbaarheid van de locaties veroorzaakt (paragraaf 2.4).

### 2.2.2 Geselecteerde variabelen

De analyse van de **vaste fase** omvat, behoudens enkele uitzonderingen, de volgende onderdelen:

- totaal-gehalte aan organische stof, N en P;
- oxalaat-extraheerbare gehalten aan Al, Fe en P (niet in de strooisellaag);
- de kationenuitwisselcapaciteit (CEC) en de bezetting van het complex met de diverse kationen (H, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, NH<sub>4</sub>), aangevuld met de pH(H<sub>2</sub>O) en pH(KCl).

De analyse van de **vloeibare fase** omvat de volgende onderdelen:

- zuurgraad (pH) en elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van het bodemvocht;
- concentraties van de ionen van alle macro-elementen (Ca, K, Al, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> etc.) in het bodemvocht;
- de verhouding tussen diverse relevante combinaties van ionen.

In het grondwater zijn dezelfde elementen bepaald als in het bodemvocht. Verder werd met deze gegevens de similariteit berekend met een aantal referentietype met behulp van het programma MAION-P (Van Wirdum, 191). De volgende referentietypen zijn in de analyse opgenomen (tabel 8):

Atm schoon, atmotroof water; afkomstig van Witteveen-water;

Lith schoon, gerijpt, (lithotroof) grondwater; afkomstig uit een kalkrijk sediment bij Angeren;

Rhlob of Mo; Rijnwater; dat beschouwd wordt als verontreinigd, lithotroof water; en

Thal. zeewater

Het grondwatertype Lithotroof-Angeren is een gerijpt, hard grondwatertype, waarvan de samenstelling sterk lijkt op het diepere grondwater onder het Drentse plateau. De regionale grondwaterstromen die in de basenrijke fysiotoopen aan de oppervlakte komen zouden met dit water gevoed worden. Verwacht wordt, dat onder ideale

omstandigheden daarom een grote similariteit gevonden kan worden met dit watertype. Bij de 'ombrotrofe' fysiotoopen zou een watertype aangetroffen kunnen worden dat een grote gelijkenis heeft met atmotroof water. Voor de basenarme fysiotoopen wordt een watertype haalbaar geacht dat voor 75% uit atmotroof en voor 25% uit lithotroof water bestaat. Dit enigszins gerijpte water zou daarbij een grote similariteit kunnen vertonen met de in MAION-P ook gebruikte zachte grondwatertypen, zoals lithotroof-Hoge Duvel. Deze zijn echter in de analyse niet betrokken (in plaats van lithotroof-Angeren), omdat daardoor het grondwater in de basenrijke fysiotoopen niet goed getypeerd kon worden.

*Tabel 8 Chemische samenstelling van de referentie-grondwatertypen van MAION*

Water-type	pH (-)	EC (mS.m <sup>-1</sup> )	Concentraties (mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup> )									Similariteit (%)			
			Na	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	Lith	Atm	Rhlob	Thal
Lith	7,3	65	0,52	0,05	5,8	0,67	0,27	0,31	6,6	0,00	0,00	100	-56	44	30
Atm	4,2	5,0	0,07	0,01	0,02	0,02	0,12	0,08	0,00	0,09	0,06	-56	100	-1	-17
Rhlob	7,8	100	4,2	0,18	4,1	0,83	1,7	5,0	2,6	0,00	0,00	44	-1	100	82
Thal	8,2	5200	456	10	21	117	55	538	1,8	0,00	0,00	30	-17	82	100

### 2.2.3 Bemonstering

#### *Strooisellaag*

Op de locaties waar een strooisellaag aanwezig was, is deze bemonsterd. Deze bemonstering is beperkt tot de bos- en de heidelocaties (tabel 5). De strooisellaag is bemonsterd op de helft van het aantal monsterpunten waar ook de minerale bodem bemonsterd is (zie aldaar), waarbij de punten om en om wel en niet bemonsterd zijn. De strooisellaag is bemonsterd m.b.v. een strooiselboor, een korte buis met een diameter van ongeveer 15 cm. Minerale delen en levende planten zijn voorzichtig uit het monster verwijderd. De dikte van de hele strooisellaag is gemeten, indien mogelijk opgedeeld naar L-, F- en H-horizont. Doordat de dikte en de bemonsterde oppervlakte bekend zijn kunnen de later gemeten waarden (massa en gehalten) omgerekend worden naar voorraden per hectare.

Niet op alle bos- en heidelocaties was voldoende strooisel en humus aanwezig om te bemonsteren. In totaal is op 11 locaties bemonsterd volgens de beschreven procedure. Op één locatie was de strooisellaag zeer ongelijk verdeeld over de oppervlakte: onder de jeneverbes struwelen een vrij dik pakket en onder de resterende heide- en grasvegetatie vrijwel niets. Op deze locatie is een strooiselmonster genomen, bestaande uit een mengmonster van het materiaal onder twee van de jeneverbesstruwelen. De hoeveelheid en de samenstelling van dit monster is echter niet representatief voor de hele locatie. Een omrekening naar voorraden per hectare heeft voor deze locatie dan ook niet plaatsgevonden.

Het gewicht van de aldus verkregen monsters varieerde sterk. De monsters zijn bewaard in plastic zakken (type: komo vuilniszak) en verder analoog aan de minerale monsters behandeld.

### ***Minerale bodem***

Op elke plot zijn mengmonsters genomen van de minerale lagen zoals die in tabel 7 vermeld staan. De mengmonsters zijn genomen op twintig monsterpunten. Deze punten lagen zoveel mogelijk in vier rijen van vijf, met een onderlinge afstand van 5 m. Waar voor deze opzet onvoldoende ruimte was, of waar de gekozen opzet niet paste binnen een uniform stuk vegetatie, is een andere, wel passende opzet gekozen. In enkele gevallen is daarom in drie rijen van zeven bemonsterd. De minerale bodem is, na verwijdering van de eventueel aanwezige strooisellaag, bemonsterd met behulp van een zogenaamde steek- of gutsboor. Om voldoende materiaal te krijgen is op elk monsterpunt vaker dan één maal gestoken. Vooral voor de bovenste laag moest daarom vaak drie- of viermaal gestoken worden. Het aantal steken per monsterplek en per laag is echter binnen elke locatie constant gehouden. Voor de dikkere lagen leverde één steek per monsterpunt doorgaans wel voldoende materiaal op.

Het (natte) gewicht van de aldus verkregen monsters was ongeveer 1 kg. De monsters zijn bewaard in daarvoor bedoelde, goed afgesloten monsterzakken (van geplastificeerd papier). Vanwege de lage buitentemperaturen (najaar 1994) en de geringe opslagcapaciteit zijn de grondmonsters gedurende de rest van de monsterdagen niet extra gekoeld bewaard. Wel zijn ze zo snel mogelijk afgeleverd op het laboratorium, waar ze in de koelkast opgeslagen zijn.

### ***Grondwater***

De bemonstering van het grondwater heeft plaatsgevonden in het centrum van de rechthoek waarin de bodem bemonsterd is. Met behulp van een Edelmanboor is een gat geboord tot 40 à 50 cm beneden de actuele grondwaterspiegel. Op locaties met een losse bovengrond (die in het gat zou kunnen vallen) en op locaties waar de bovengrond duidelijk verzadigd was met water (waardoor er water uit deze bovengrond het gat in zou kunnen lopen) is gebruik gemaakt van een mantelbuis welke in het gat geplaatst werd, voordat het grondwater bereikt was. Direct na het boren is een filterbuis in het boorgat geplaatst. Hiervoor zijn verschillende buizen gebruikt, afhankelijk van de diepte van het grondwater en de snelheid van toestromen. De lengte van deze buizen varieerde van 80 cm tot ruim 2 m. Het filter (geperforeerde onderste deel) was 20 of 50 cm lang en was voorzien van een filterkous.

Na ongeveer 15 minuten is de buis langzaam bijna leeggepompt met behulp van een regelbare slangenpomp. De snelheid van afpompen werd afgestemd op de toestroom-snelheid van het grondwater. Het afpompen is enkele malen herhaald, afhankelijk van de snelheid waarmee het water toestroomde. Aan het eind hiervan is het opgepompte water gebruikt om de voor de bemonstering te gebruiken filters door te spoelen en het monsterflesje om te spoelen. De tijd tussen het maken van het boorgat en de uiteindelijke bemonstering, meestal ongeveer 1 uur, is gebruikt voor de bemonstering van de bodem en de eventueel aanwezige strooisellaag.

Nadat het grondwater zich opnieuw had ingesteld is het afgepompt voor de bemonstering. In de praktijk komt het erop neer dat de bovenste 30 à 40 cm van het grondwater bemonsterd is. Het grondwater is direct bij de bemonstering gefiltreerd over een 0,45 µm filter dat rechtstreeks aangesloten zat op de slangenpomp. Door deze filtratie wordt het watermonster zo min mogelijk beïnvloed door biologische

omzettingsprocessen. Het grondwater is opgevangen in een PE-monsterflesje van 100 ml, dat zo vol mogelijk gevuld is, om chemische reacties als gevolg van het bijsluiten van lucht zoveel mogelijk te voorkomen. Verder zijn de watermonsters zo snel mogelijk gekoeld (in een meegenomen koelbox), zodat ze beter bewaard konden blijven totdat ze geanalyseerd zouden worden.

De Ec en de pH van het grondwater zijn in het veld bepaald met behulp van respectievelijk een draagbare Ec-meter en een draagbare pH-meter. Wanneer het grondwater niet te diep stond, is dit gebeurd door de elektrode in de filterbuis te laten zakken. Wanneer het water daarvoor te diep stond, is een geringe hoeveelheid opgepompt en zijn de Ec en de pH bepaald in een afzonderlijk monsterflesje.

### 2.3 Monstervoorbereiding en chemische analyses

Bij de monstervoorbereiding en de chemische analyses is voorrang gegeven aan elementen die aan de grootste verandering onderhevig kunnen zijn, met name de pH en de  $\text{NH}_4^-$ - en  $\text{NO}_3^-$ -concentraties in grondwater en bodemvocht. Een deel van ieder grondwatermonster werd in het laboratorium aangezuurd met geconcentreerd  $\text{HNO}_3$ , om het ontstaan van neerslagen daarin te voorkomen (of te niet te doen). Vooral in oorspronkelijk anaëroobe watermonsters kunnen neerslagen optreden van bijvoorbeeld ijzer- en fosfaatverbindingen.

In het laboratorium is in de grondwatermonsters (opnieuw) de pH en het Elektrisch geleidingsvermogen (EGV, bij 20 °C) bepaald in het niet-aangezuurde sub-sample. Daarna zijn zowel het aangezuurde als het niet-aangezuurde sub-sample opnieuw gefiltreerd over een filter met porie-grootte 0,45  $\mu\text{m}$ . Hierna waren de monsters gereed voor de chemische analyse.

Aan alle strooiselmonsters en de eerder genoemde selectie van minerale monsters is (bodem)vocht onttrokken middels de centrifugemethode. Hierbij is een sub-sample van ongeveer 400 gram gedurende 20 minuten op 7500 rpm gecentrifugeerd. Afhankelijk van de hoeveelheid verkregen vocht hebben verschillende verdunningen plaatsgevonden, zodat voldoende vocht beschikbaar was om alle analyses uit te kunnen voeren. Alleen de pH en de EGV zijn altijd in het onverdunde monster gemeten. Het aldus verkregen bodemvocht is net zo behandeld als de grondwatermonsters.

Alle strooiselmonsters en alle minerale monsters zijn op 70 °C gedroogd in een droogstoof, zodat ze voor langere tijd bewaard konden worden.

In alle vochtmonsters (grondwater en bodemvocht) zijn de concentraties aan H, (pH), Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K, Na,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  en Cl bepaald. De pH en het EGV zijn potentiometrisch bepaald. De concentraties  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  en Cl zijn bepaald met behulp van de *Flow Injection Analyzer* (FIA), terwijl die van Si, Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K,  $\text{H}_2\text{PO}_4$  en  $\text{SO}_4$  zijn bepaald met behulp van *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (ICP AES). De concentratie  $\text{HCO}_3$  (bicarbonaat) is berekend uit de ionenbalans. De concentratie aan organische anionen (RCOO) en zware metalen

zijn niet gemeten. Vooral in organische monsters (strooisellagen en veengronden) kunnen het niet meten van de concentratie organische anionen de berekeningswijze voor de bicarbonaatconcentratie een overschatting opleveren van deze bicarbonaatconcentratie.

In alle strooiselmonsters en in de grondmonsters van de lagen 1 en 2 (tabel 7) is een analyse verricht van het gehalte aan organische stof, stikstof en fosfor, de pH(KCl) (Bedrijfslaboratorium Oosterbeek). Het gehaltes aan uitwisselbare kationen, i.e. H, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, NH<sub>4</sub> en de gehaltes oxalaat-extraheerbaar Fe, Al en P zijn in alle lagen bepaald (tabel 7). Het organischestofgehalte is gemeten als het gewichtsverlies na gloeien. De totaalgehalten aan stikstof en fosfor zijn na destructie bepaald volgens de methode van Kurmies. De makkelijk oplosbare gehalten aan Al, Fe en P zijn gemeten door de monsters te extraheren met een zure ammoniumoxalaat-oplossing met pH 3, gevolgd door ICP analyse van het extract (Schwertmann, 1964). De pH(KCl) is potentiometrisch bepaald na schudden met een 1,0 M KCl oplossing. Voor de bepaling van de kationenuitwisselcapaciteit (CEC) en de kationbezetting zijn de monsters geëxtraheerd met een 0,01 M zilverthioureum (AgTu) oplossing. Hierbij worden de uitwisselbare kationen aan het omwisselcomplex volledig vervangen door AgTu. De concentraties Al, Fe, Mn, Ca, Mg Na en K en de overgebleven (niet gebonden) concentratie Ag zijn bepaald met behulp van de ICP en omgerekend naar geadsorbeerde fracties. Ter bepaling van de NH<sub>4</sub>-bezetting is afzonderlijk geëxtraheerd met een 1,0 M KCl oplossing, gevolgd door de analyse van de NH<sub>4</sub>-concentraties en omgerekend naar geadsorbeerde gehalten. Het uitwisselbaar H-gehalte is bepaald als het verschil tussen de gemeten CEC en de som van de overige kationen.

## 2.4 Dataverwerking en presentatie

De gegevens zijn verwerkt met behulp van GENSTAT-programma's en -procedures (GENSTAT 5 Committee, 1987), die geschreven waren voor de verwerking van bodemchemische data. Bij deze verwerking zijn de verschillende 'compartimenten' (vaste fase, bodemvocht en grondwater) afzonderlijk behandeld. De gegevens met betrekking tot bodem, grondwatertrap, fysiotoop en vegetatietype (incl. landgebruik) zijn zodanig geordend, dat ze gebruikt konden worden voor de opdeling van de resultaten naar de verschillende klassen.

De belangrijkste resultaten voor de chemische samenstelling van de vaste fase, het bodemvocht en het grondwater zijn gepresenteerd in tabellen. Voor de vaste fase en het bodemvocht wordt eerst een tabel gegeven met de medianen (= 50-percentielwaarden) per laag van alle gemeten elementen en de daarvan afgeleide ratio's. Voor een geselecteerde groep belangrijke variabelen wordt bovendien de verdeling gegeven door middel van de minimale en de maximale waarde en de 5-, 50- en 95-percentielwaarden. Voor de samenstelling van het grondwater is dit voor alle variabelen gedaan.

De resultaten zijn ook opgedeeld naar de verschillende klassen die gehanteerd zijn voor het moedermateriaal, de grondwatertrap, het fysiotoop en het landgebruik/vegetatietype. Bij de presentatie is een selectie gemaakt van de relevant geachte



combinaties van gemeten grootte, laag en onderverdeling. Om de overzichtelijkheid te vergroten is de presentatie van de resultaten voor de verschillende klassen beperkt tot de mediane waarden (50-percentielen) voor iedere klasse. Afhankelijk van de geobserveerde (set van) variabelen is een sterkere of zwakkere relatie te verwachten met de gekozen klasseindelingen. Voor min of meer constante of slechts langzaam veranderende variabelen (welke deel uitmaken van de fysiotoopkenmerken) is een sterkere relatie te verwachten met de fysiografische indelingscriteria, terwijl voor snel fluctuerende, makkelijk beïnvloedbare variabelen een sterker verband is te verwachten met het vegetatie- of landgebruikstype. Verder is te verwachten dat het verband met de fysiografische indelingscriteria toeneemt met de diepte terwijl dat met het vegetatietype juist afneemt, omdat mogelijke effecten van het vegetatietype van bovenaf inwerken op het bodemprofiel.

De statistische analyse gaat uit van de analyse van alle afzonderlijke (gemeten) variabelen, welke in een monofactoriële en multifactoriële benadering gekoppeld worden aan resp. één of meerdere indelingsfactoren (abiotische indelingscriteria en vegetatietype). Multi-variate technieken waarbij meerdere (gemeten) variabelen in beschouwing worden genomen, zijn niet toegepast.

Bij de statistische analyse is voor de meeste variabelen een transformatie van de data toegepast. In de meeste gevallen is een log-transformatie toegepast. Een logistische transformatie is toegepast op variabelen die voorkomen op een begrensde schaal (0-100%). Dit is bijvoorbeeld het geval voor het organischestofgehalte en de bezetting van adsorptiecomplex. Voor enkele variabelen is de normale verdeling aangenomen, waaronder de pH en de similariteiten in het grondwater.

Voor de gegevens van de grondwatersamenstelling is een eenvoudige analyse mogelijk, omdat telkens één waarde per locatie beschikbaar is, voor in principe telkens dezelfde laag. Voor de vaste fase- en bodemvochtgegevens, zijn er echter twee aspecten die een statistisch correcte analyse compliceren:

- er zijn twee strata van variatie in de waarnemingen: binnen de locaties (tussen de lagen) en tussen de locaties;
- er zijn verschillende laagindelingen, afhankelijk van het vegetatietype en de oorsprong van de gegevens.

De twee bronnen van variatie hangen samen met de indeling met meer bemonsterde lagen op dezelfde locatie. De verschillende indelingscriteria (of hoofdfactoren) zijn verdeeld over de locaties en zijn dus binnen de locaties hetzelfde. De correcte analyse van het effect van deze factoren moet dus uitgevoerd worden op de locaties, ofwel op locatie-representatieve waarden. Hiervoor is meestal het gemiddelde (op de gebruikte schaal) gebruikt, maar waar dat niet mogelijk was een alternatieve waarde. Binnen de locaties speelt alleen een laag- of diepte-effect, dat mogelijk wel afhangt van de hoofdfactoren. De afhankelijkheid tussen de diepte en de hoofdfactoren kunnen beschouwd worden als interactiefactoren. Het diepte-effect en de diepte-interacties zijn geschat aan de hand van de verschillen van de gemeten waarden ten opzichte van de eerdergenoemde locatierepresentatieve waarden.

De verschillende laagindelingen van de locaties bemoeilijken de vergelijking van de locaties. Bovendien is het weergeven van resultaten voor te veel verschillende (sub)lagen erg onoverzichtelijk. Er is daarom gekozen voor de volgende opzet:

- a. De resultaten voor de minerale samenstelling zijn omgerekend tot waarden voor de laag 0-30 cm. Voor de locaties waar de lagen 0-10 cm en 10-30 cm bemonsterd zijn is een gewogen gemiddelde uitgerekend. Hierdoor kwam voor alle locaties (met uitzondering van de twee locaties uit het Drente-onderzoek) een waarde beschikbaar die vergelijkbaar was over alle locaties. Deze waarde is gebruikt voor de presentatie van het effect van de afzonderlijke factoren en als locatierepresentatieve waarde in de statistische analyse; de laageffecten zijn bepaald aan de hand van de verschillen ten opzicht van het resultaat voor deze representatieve waarde.
- b. De resultaten voor de bodemvochtsamenstelling zijn per laag(-nummer) samengevoegd, ongeacht de diepte. Hierbij is verondersteld dat het resultaat voor laag 1 representatief is voor de samenstelling *in de wortelzone*, terwijl het resultaat voor laag 3 representatief is voor de samenstelling *onder de wortelzone*. De dikte en de diepte van de bemonsterde laag zijn hierbij van ondergeschikt belang; als locatie-representatieve waarde is gebruik gemaakt van het gemiddelde over de lagen 1 en 3 (mede omdat voor laag 0 slechts voor een deel van de locaties een waarde beschikbaar was). Laageffecten zijn geschat aan de hand van het verschil ten opzicht van deze representatieve waarde.

De statistische analyse op de hoofdeffecten van de afzonderlijke variabelen is uitgebreid met de vaststelling van de verklaarde variantie van het gehele fysiotoopmodel (Gt+Basenstatus+Grondsoort+Cultuurdek), waarna het effect van de toevoeging van het Vegetatietype getest is. Hierbij is de klasse-indeling voor de Gt op eenvoudige wijze gekwantificeerd (zie ook Par. 6.2). Tot slot is met behulp van voorwaartse stapsgewijze regressie een selectie gemaakt van de factoren die de gevonden variatie het beste verklaren.

Bij de analyse van de variatie tussen de lagen is een analyse gemaakt van de verklaarde variantie door uitsluitende de laagcode, gevolgd door de selectie van het beste model (inclusief de interactiefactoren met de verschillende indelingscriteria) voor de verklaring van de gevonden variatie binnen de locaties.

Op basis van de resultaten van de statistische analyse is voor enkele variabelen een invulling gemaakt van de verwachte waarden per fysiotooptype, en soms per laag binnen dat fysiotooptype. Omdat deze verwachte waarden alleen zouden moeten gelden voor de meer natuurlijke vegetatietypen, is hiervoor gebruik gemaakt van een alternatief statistisch model. In dit model is de predictorvariabele 'vegetatietype' vervangen door de twee variabelen 'vegetatiestructuurtype' en 'terreintype' (natuurlijk vs. cultureel; vergelijk tabel 2), tezamen met de abiotisch criteria. De verwachte waarde is nu vastgesteld op basis van de verwachtingswaarde per fysiotooptype voor het terreintype 'natuur'. Hierbij is (impliciet) verondersteld dat de verdeling van het aandeel van de verschillende vegetatiestructuurtypen in ieder fysiotooptype hetzelfde is.

Tot slot is voor de chemische samenstelling van het bodemvocht een analyse gemaakt voor de correlatie van de verschillende variabelen met de corresponderende variabele in het grondwater.

### 3 Chemische samenstelling van de vaste fase

#### 3.1 Organische stof en bulkdichtheid

##### 3.1.1 Algemene karakterisering

###### *Strooisellagen*

Het aantal locaties dat in principe in aanmerking kwam voor de bemonstering van de strooisellaag bedroeg 38, te weten alle locaties met bos, heide of jeneverbesstruweel. Op de tien heidelocaties is echter afgezien van de bemonstering van de strooisellaag, omdat de dikte onvoldoende was. Voor de meeste van deze locaties was het plaggen van de hei in de laatste 10 jaar vermoedelijk de belangrijkste reden voor de afwezigheid van een strooisellaag van een bemonsterbare dikte. De heide is dus volledig buiten beschouwing gelaten bij de analyse van de strooisellaag. Op de twee boslocaties uit het 'Drente-onderzoek' zijn geen strooisellagen bemonsterd. Op één 'nieuwe' boslocatie is verzuimd om de dikte te meten, terwijl er wel strooisel bemonsterd is, terwijl op de twee jeneverbeslocaties de dikte niet gemeten is, omdat het pakket alleen onder de struwelen voorkwam. Op vier boslocaties was de dikte van de strooisellaag te dun (= 0 cm) om deze te bemonsteren.

Voor 19 locaties zijn er voldoende gegevens om alle variabelen te presenteren. Voor deze locaties geldt dat (i) de dikte groter is dan 0 cm (en er dus bemonsterd is), (ii) de dikte daadwerkelijk gemeten is en (iii) het een bos is. Dit aantal is bijvoorbeeld van toepassing op de bulkdichtheid (tabel 9). Voor vier additionele locaties is de dikte 0 cm, en zijn dus 23 waarden (19+4) beschikbaar voor dikte en voorraden (waarvan vier 0-waarden). Voor de drie locaties waarvoor de dikte niet bepaald is, zijn wel de gehalten en het monstergewicht bekend, waardoor er 22 waarden (19+3) zijn voor deze variabelen.

*Tabel 9 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de dikte, organischestofgehalten, bulkdichtheid en voorraden van de strooisellagen*

Percentiel-waarde	Dikte (cm)	Organischestof-gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	Bulkdichtheid (kg.m <sup>-3</sup> )	Massa (ton.ha <sup>-1</sup> )	
				Totaal	Organische stof
Aantal	23	22	19	23	23
Minimum	0,0	559	62	0,0	0,0
5-percentiel	0,0	561	68	0,0	0,0
50-percentiel	8,6	710	130	109	85
95-percentiel	13	881	340	251	179
Maximum	14	892	368	324	210

De dikte van de strooisellaag (voor zover gemeten) varieert van nihil op diverse locaties tot wel 14 cm (tabel 9). Deze variatie in dikte valt binnen de range zoals die gevonden is voor de zandgronden en de klei- en veengronden (De Vries & Leeters, 1998; Klap et al., 1998). De massa van de strooisellaag varieert mee met

de dikte, evenals de voorraad organische stof. Het organischestofgehalte ligt tussen 55 en 90%, wat vrij normaal is voor bossen op zandgronden (De Vries & Leeters, 1998). De variatie in bulkdichtheid is echter behoorlijk groot.

### **Minerale bodem**

Het organischestofgehalte van de minerale lagen 1 en 2 (0-10 cm en 30-60 cm of 0-30 cm en 60-100 cm, afhankelijk van het vegetatietype) varieert sterk omdat een breed spectrum aan moedermaterialen in het onderzoek betrokken is, van humusarme zandgronden tot veengronden (tabel 10). De term *minerale* bodem omvat hier ook de het bodemmateriaal van de veengronden voor zover dit niet tot de strooisellaag gerekend wordt.

Als gevolg van de spreiding in de organischestofgehaltenes is er ook in de bulkdichtheid een grote spreiding. Een belangrijk deel van de spreiding in organischestofgehalte en bulkdichtheid hangt samen met de verschillen tussen de drie moedermaterialen. Echter, ook binnen de klassen moedermateriaal 'veen' en 'zand' is er echter een aanzienlijke spreiding in organischestofgehalte en in bulkdichtheid. Binnen de zandgronden, bijvoorbeeld, varieert het organischestofgehalte van 15 tot 210 g.kg<sup>-1</sup> rond de mediaan van 58 g.kg<sup>-1</sup>.

De verschillen in bulkdichtheid bemoeilijken in belangrijke mate de vergelijking van de resultaten voor gehaltenes (per kg grond) tussen de verschillende locaties en de verschillende klasse-indelingen (met uitzondering van de indeling in moedermateriaal). De toevoeging van de voorraden voor een laag met een vaste dikte (hier: 10 cm) ondervangt dit nadeel. Wel heeft voor sommige variabelen de voorraad minder betekenis dan het gehalte. De variatie in de voorraad organische stof is beduidend geringer dan die in de gehaltenes organische stof (tabel 10). Dit hangt in belangrijke mate samen met de veel geringere bulkdichtheid van de veengronden ten opzichte van de minerale gronden. Ook binnen de klassen in moedermateriaal dempt het gebruik van voorraden de spreiding die gevonden is voor de gehaltenes, omdat ook hier de bulkdichtheid afneemt met een toenemend organischestofgehalte.

*Tabel 10 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van het organischestofgehalte en de bulkdichtheid voor de minerale bodem*

Percentiel-waarde	Organischestofgehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	Organischestofvoorraad (ton.ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )	Bulkdichtheid (kg.m <sup>-3</sup> )
Aantal waarden	113	113	113
Minimum	15	23	164
5-percentiel	23	34	177
50-percentiel	72	84	1 215
95-percentiel	844	150	1 458
Maximum	924	179	1 548

### ***Verloop met de diepte***

De organischestofgehaltenes van de locaties waar de lagen 0-10 en 10-30 cm afzonderlijk bemonsterd zijn, zijn duidelijk hoger dan op de locaties waar deze lagen tezamen bemonsterd zijn (tabel 11). Dit hangt voornamelijk samen met het relatief hoge aandeel veengronden en humusrijke zandgronden onder de korte vegetatietypen en de afname van het organischestofgehalte met de diepte binnen de eerste 30 cm. Bij de locaties waar de lagen 0-30 cm en 30-60 cm bemonsterd zijn is een verdere afname van het organischestofgehalte met de diepte te zien. Het verloop met de diepte volgt (omgekeerd) het patroon in de organischestofgehalten.

**Tabel 11** De mediane waarden van het organischestofgehalte en de bulkdichtheid voor de afzonderlijke bodemlagen

Laag	Aantal waarden <sup>1)</sup>	Organischestofgehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	Organische-stofvoorraad (ton.ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> ) <sup>2)</sup>	Bulkdichtheid (kg.m <sup>-3</sup> )
Strooisellaag <sup>3)</sup>	22	710	85	130
0 - 10 cm	35	129	108	1 012
10 - 30 cm	33	77	84	1 202
0 - 30 cm	28	61	77	1 265
30 - 60 cm	30	31	43	1 416
Verklaarde variantie (% $R^2_{adj}$ ) <sup>4)</sup>		93	55 <sup>5)</sup>	92

<sup>1)</sup> Alleen de origineel bepaalde waarden, dus geen gelumpte waarden voor twee deellagen.

<sup>2)</sup> Voor de strooisellaag in ton ha<sup>-1</sup> over de gehele dikte

<sup>3)</sup> Gegevens cf. tabel 9

<sup>4)</sup> Gebaseerd op de verschillen binnen de locaties ten opzichte van de laag 0-30 cm (gemeten waarde ofwel gewogen gemiddelde waarde van 0-10 cm en 10-30 cm)

<sup>5)</sup> Betreft uitsluitend de variatie tussen de bodemlagen, niet de strooisellaag.

### ***Selectie van variabelen voor verdere analyse***

In de hierna te behandelen relaties met de afzonderlijke indelingscriteria en met het fysiotoopmodel zal de spreiding in de volgende variabelen verder geanalyseerd worden: voor de strooisellaag uitsluitend de dikte en voor de bovengrond het de gehaltenes en voorraden organische stof en de bulkdichtheid.

De samenvoeging van de resultaten voor de lagen 0-10 en 10-30 cm en de combinatie daarvan met de reeds beschikbare resultaten voor de laag 0-30 cm, levert voor het organischestofgehalte verdelingen op die vergelijkbaar zijn met de verdeling over alle monsters, echter met een wat geringere spreiding (tabel 12, vergelijk met tabel 10). Ook hier blijkt dat de organischestofgehaltenes sterk variëren en de voorraden veel minder. De waarden voor het organischestofgehalte en de bulkdichtheid bevestigen dat het merendeels locaties met een minerale bodem betreft, aangevuld met een aantal veenlocaties.

Tabel 12 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van het organischestofgehalte en de bulkdichtheid voor de bovengrond (0-30 cm)

Percentiel-waarde	Organischestofgehalte (g kg <sup>-1</sup> )	Organischestofvoorraad (ton ha <sup>-1</sup> dm <sup>-1</sup> )	Bulkdichtheid (kg m <sup>-3</sup> )
Aantal waarden	61	61	61
Minimum	21	32	167
5-percentiel	31	45	183
50-percentiel	73	87	1206
95-percentiel	806	149	1440
Maximum	906	157	1506

<sup>1)</sup> 61 = 28 monsters 0-30 cm en 33 gewogen gemiddelden voor monsters 0-10 cm en 10-30 cm.

### 3.1.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria

De dikte van de strooisellaag vertoont een sterke afhankelijkheid met de Gt. Bij de natste Gt's is geen of vrijwel geen strooisellaag aangetroffen, terwijl de dikste strooisellagen zijn aangetroffen bij de droogste Gt's (abel 13). Dit lijkt tegenstrijdig met de gremde mineralisatie in deze natte gronden. De ene (bos)locatie met Gt I licht echter in een baserijk fysiotop, waardoor deze slecht vergelijkbaar is met de waarden voor de overige Gt-classes, die merendeels in ombrotrofe fysiotopen vallen.

De gehalten en voorraden organische stof nemen duidelijk af met toenemende Gt (tabel 13). Tussen Gt II (en natter) en Gt III/IV (en droger) vertoont het organischestofgehalte een scherpe overgang, die samenhangt met de verdeling van de grondsoorten over de Gt's. De klassen met Gt I en Gt II omvatten dan ook overwegend veengronden, terwijl de overige klassen voornamelijk uit zandgronden bestaan. Ook de bulkdichtheid vertoont de scherpe overgang tussen de klassen Gt II en Gt III/IV die samenhangt met de overgang van veengronden naar zandgronden. De voorraden vertonen een meer continue daling met oplopende Gt. Mogelijk mede hierdoor is de verklaarde variantie door de Gt duidelijk geringer.

Tabel 13 De mediane waarden van de dikte van de strooisellaag en het gehalte en de voorraad organische stof, en de bulkdichtheid van de bovengrond als functie van de Gt

Grondwatertrap	Strooisellaag		Bovengrond (0-30 cm)			
	Aantal waarden	Dikte (cm)	Aantal waarden	O.S.-gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	O.S.-voorraad (kg.ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )	Bulkdichtheid (kg.m <sup>-3</sup> )
Gt I	1	0,0	4	738	144	196
Gt II	0	-	12	401	115	286
Gt III-III*-IV	4	3,4	11	97	101	1 121
Gt V-V*	3	4,0	11	66	78	1 247
Gt VI-VII-VIII	15	9,0	23	56	73	1 285
Verklaarde variantie (%)		49		66	44	68
<i>R</i> <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )						
<i>idem</i> , door LKN Gt-indeling		52		60	40	61

De dikte van de strooisellaag vertoont een sterke, zeer significante afname met een toenemende basenrijkdom van het grondwater. In basenrijke fysiotopten zijn zelfs in het geheel geen strooisellagen aangetroffen (tabel 14). Dit duidt erop dat de basenstatus een sterke invloed heeft op de mineralisatie en daarmee op de dikte van de strooisellaag. De diktes van de strooisellaag in basenarme en ombrotrofe fysiotopten verschillen niet zo sterk, omdat twee van de drie bemonsterde boslocaties in basenarme locaties kenmerken vertoonden van oppervlakkige verdroging, wat met name in de strooisellaag geleid zou kunnen hebben tot een nivellering van de verschillen met de ombrotrofe fysiotopten. Daarnaast was op één van beide locaties oorspronkelijk een dun laagje veen aanwezig tussen de strooisellaag en de minerale bodem. Door verdroging was deze echter goeddeels verdwenen. Waar echter nog resten daarvan aanwezig waren, waren deze niet meer te scheiden van de strooisellaag, waardoor deze mogelijk te dik geschat is.

De verschillen in de gehalte en voorraden organische stof en de bulkdichtheid van de bovengrond hangen slechts in geringe mate samen met de basenrijkdom van het grondwater (tabel 14). Een groot deel van de verschillen in de mediane waarden per klasse hangen vermoedelijk samen met de verdeling van de grondsoorten over de klassen in basenrijkdom. Een duidelijk patroon met de basenrijkdom is voor deze variabelen op grond van deze gegevens dus niet direct te zien.

*Tabel 14 De mediane waarden van de dikte van de strooisellaag en het gehalte en de voorraad organische stof en de bulkdichtheid van de bovengrond als functie van de basenstatus van het grondwater*

Basenstatus van het grondwater	Strooisellaag		Bovengrond (0-30 cm)			
	Aantal waarden	Dikte (cm)	Aantal waarden	O.S.-gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	O.S.-voorraad (kg.ha <sup>-1</sup> .dm)	Bulkdichtheid (kg.m <sup>-3</sup> )
Ombrotroof	17	8,7	40	61	78	1 270
Basenarm	3	6,8	11	98	109	1 119
Basenrijk	3	0,0	10	284	107	338
<i>Verklaarde variantie (%)</i>		<i>68</i>		<i>5</i>	<i>9</i>	<i>11</i>
<i>R<sup>2</sup><sub>adj</sub></i>						

Strooisellagen van enige omvang zijn uitsluitend aangetroffen op de zandgronden (tabel 15). Eerder onderzoek (Klap et al., 1998) heeft aangetoond dat de aanwezigheid van een strooisellaag in bossen op veengronden (in basenarme of ombrotrofe systemen) echter wel mogelijk is, met name in niet al te basenrijke systemen. In het huidige onderzoek liggen echter alle bossen op veengronden in meer basenrijke fysiotopten, waardoor hier geen strooisellaag ontstaan is. In bossen op ombrotrofe veengronden is deze dus wel degelijk mogelijk.

De veengronden onderscheiden zich, zoals verwacht, duidelijk van de minerale gronden door hun hoge organischestofgehalte en hun geringe bulkdichtheid (tabel 15). Deze grote verschillen verklaren ook het hoge percentage verklaarde variantie. Voor de voorraden zijn deze verschillen, hoewel nog steeds aanwezig, veel minder sterk. De zand- en kleigronden verschillen nauwelijks in gehalte en voorraad organische stof.

Tabel 15 De mediane waarden van de dikte van de strooisellaag en het gehalte en de voorraad organische stof en de bulkdichtheid van de bovengrond als functie van de grondsoort

Grondsoort	Strooisellaag		Bovengrond (0-30 cm)			
	Aantal waarden	Dikte (cm)	Aantal waarden	O.S.-gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	O.S.-voorraad (kg.ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )	Bulkdichtheid (kg.m <sup>-3</sup> )
Veen	1	0,0	15	601	136	227
Zand	20	8,7	42	61	78	1 270
Klei	2	0,0	4	67	79	1 176
Verklaarde variantie (%)		60		80	31	95
<i>R</i> <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )						
<i>idem, incl. cultuurdek</i>		59		80	35	95

De dikte van de strooisellaag is duidelijk groter onder de naaldbostypen dan onder loofbos (tabel 16). Dit verschil is eerder ook aangetroffen voor de strooisellagen op zandgronden en lössgronden (De Vries & Leeters, 1998; Klap et al., 1998). In de huidige studie is het verschil echter groter dan in de genoemde studies, omdat verschillende van de loofbossen voorkomen op niet-ombrotrofe locaties, waar geen strooisellaag is aangetroffen.

Tabel 16 De mediane waarden voor de dikte van de strooisellaag en het gehalte en de voorraad organische stof en de bulkdichtheid van de bovengrond als functie van het vegetatietype

Vegetatietype	Strooisellaag		Bovengrond (0-30 cm)			
	Aantal waarden	Dikte (cm)	Aantal waarden	O.S.-gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	O.S.-voorraad (kg.ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )	Bulkdichtheid (kg.m <sup>-3</sup> )
Donker naaldbos	7	9,2	9	56	73	1 276
Licht naaldbos	8	9,4	10	58	73	1 285
Loofbos	8	2,1	8	86	99	1 152
Heide	-	-	10	393	122	682
Jeneverbes-heide	0 <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>	2	55	69	1 314
Ext. grasland 'C'	-	-	12	123	94	1 052
Ext. grasland 'G'	-	-	6	288	109	729
Int. grasland	-	-	5	67	84	1 247
Mais	-	-	2	34	41	1 429
Verklaarde variantie (%)		41		22	24	16
<i>R</i> <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )						
<i>idem, door veg.strukturtype</i>		- <sup>2)</sup>		16	13	14
<i>plus 'natuur' vs. 'cultuur'</i>		4 <sup>2)</sup>		16	14	14

<sup>1)</sup> Op geen van beide jeneverbeslocaties is de dikte van de strooisellaag bepaald.

<sup>2)</sup> Alle waarden behoren tot het vegetatiestruktuurtype 'bos'.

De verschillen in organischestofgehalten en bulkdichtheden in de bodems onder de verschillende vegetatietypen laten zien, dat de extensief beheerde graslandlocaties (met name van het 'G'-type) en de heidelocaties overwegend voorkomen op veengronden (tabel 16). De maïslanden komen voor op de meest humusarme



(zand)gronden. Binnen de bossen komen de loofbossen voor op gronden met een duidelijk humusrijkere bovengrond dan de naaldbossen. Het organischestofgehalte van de bovengrond onder naaldbos is vergelijkbaar met dat onder jeneverbesheide en intensief gebruikt grasland. Al deze vegetatietypen zijn dan ook geconcentreerd op de ombrotrofe zandfysiotopen. De waarden voor de voorraden organische stof lopen veel minder uiteen dan die voor de gehalten. Toch blijft het percentage verklaarde variantie op ongeveer hetzelfde niveau liggen. Dit duidt erop dat hier wel sprake van een consistent patroon, ondanks het relatief geringe percentage verklaarde variantie.

### 3.1.3 Relatie met het fysiotoopmodel

De variatie in de dikte van de strooisellaag wordt uitstekend verklaard door het volledige fysiotoopmodel (= basenrijkdom grondwater, Gt-klasse, grondsoort en aan/afwezigheid van een cultuurdek als onafhankelijke factoren) (tabel 17). Toevoeging van het vegetatietype (= bostype) zorgt slecht voor een geringe toename van de verklaarde variantie. Ook de bijdrage van de Gt en de grondsoort in de verklaarde variantie is gering (vergl. tabel 17 met tabel 14 en 15).

De variatie in het organischestofgehalte en de bulkdichtheid van de bovengrond worden goed verklaard door het volledige fysiotoopmodel, de voorraden organische stof echter duidelijk minder, maar nog wel significant (tabel 17). De variatie in bulkdichtheid wordt, geheel naar verwachting, bijna volledig verklaard door de grondsoort (tabel 15 en 17). Voor het organischestofgehalte zijn daarnaast ook de Gt en de basenrijkdom van het grondwater van belang (17). Het vegetatietype doet voor beide variabelen nauwelijks toe, wat ook blijkt uit het geselecteerde beste model. De variatie in de voorraad organische stof wordt vooral verklaard door de Gt, gevolgd door de aan/afwezigheid van een cultuurdek.

*Tabel 17 Resultaten van de regressie-analyse voor de hoofdeffecten van de dikte van de strooisellaag en van het gehalte en de voorraad organische stof en de bulkdichtheid*

Geanalyseerde variabele	Volledig fysiotoop		id. + vegetatietype		Beste statistische model		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>
Dikte strooisellaag	68	***	70	*** -	Basen	68	***
O.S.-gehalte bovengr.	88	***	89	*** -	Grond + Basen + Gt	87	***
O.S.-voorraad bov.gr.	44	***	48	*** -	Gt + Dek	44	***
Bulkdichth. bovengr.	97	***	97	*** -	Grond + Gt + Basen	97	***

<sup>1)</sup> bestaande uit onafhankelijke combinatie van Basen+Gt+Grond+Dek

<sup>2)</sup> significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001 (v: idem voor bijdrage vegetatietype).

Het organischestofgehalte en de bulkdichtheid vertonen een sterk significant verloop met de diepte (tabel 18 en 11). Het verloop in de organischestofvoorraad is iets minder sterk gecorreleerd met de diepte, maar voor deze variabele worden de verschillen tussen de lagen mede bepaald door de grondsoort en de Gt. Zoals later zal blijken, is er een toename van organischestofgehalte met de diepte voor de

organische gronden en een afname voor de minerale gronden (tabel 19)

*Tabel 18 Resultaten van de regressie-analyse voor het laageffect en de interacties daarvan voor het gehalte en de voorraad organische stof en de bulkdichtheid van de bodem*

Geanalyseerde variabele	Laageffect		Laageffect + interacties (beste model)		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Significantie <sup>1)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Significantie <sup>1)</sup>
Org.stofgehalte	93	***	Laag	93	***
Org.stofvoorraad	56	***	Laag + Laag.Grond + Laag.Gt	87	***
Bulkdichtheid	92	***	Laag + Laag.Gt + Laag.Basen	95	***

<sup>1)</sup> significantie: - =  $P \geq 0,1$ ; \* =  $P < 0,1$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ .

De uitkomsten van het 'volledige' regressiemodel voor de variabele 'organischestofgehalte' zijn gebruikt om een schatting te maken van de waarden onder de weinig belaste vegetatietypes (tabel 19). Deze schatting is gebaseerd op alle factoren in het model, ook als die niet significant waren (tabel 17 en 18). Beperking tot significante factoren zou een vereenvoudiging van het beeld opleveren.

De invulling van het fysiotoopmodel met behulp van de uitkomsten van de regressie op de resultaten voor het organischestofgehalte laten geheel naar verwachting zien, dat de hoogste organischestofgehaltenes aangetroffen zijn in de veengronden (tabel 19). Binnen de bovengrond van de veengronden loopt het organischestofgehalte af van ombrotroef naar basenrijk en van Gt I naar Gt III/IV (en droger). Eenzelfde patroon is waar te nemen voor de zandgronden, waar overigens de laagste waarden optreden bij 'basenarm', en ook binnen de kleigronden neemt het organischestofgehalte af met oplopende Gt.

Een opvallend verschijnsel doet zich voor bij de waarden voor zand- en kleigrond bij Gt I en II, welke overigens in het veld niet aangetroffen en dus niet bemonsterd zijn. De (geëxtrapoleerde) waarden voor deze fysiotoopen zouden volgens de geldende classificatie ingedeeld moeten worden als 'moerig'. Dit resultaat zou enerzijds verklaard kunnen worden uit de gedeeltelijke inwisselbaarheid van de Gt en de grondsoort ('moerig' is verstrengeld met 'nat'). Anderzijds duidt dit resultaat erop deze 'theoretische' combinaties met een minerale bodem onder natuurlijke omstandigheden niet gevonden worden, omdat in deze fysiotoopen zich onder de heersende omstandigheden een veengrond een veengrond zou ontwikkelen (als gevolg van wateroverlast).

De aanwezigheid van een cultuurdek komt niet tot uiting in het organischestofgehalte. Het organischestofgehalte mét cultuurdek is voor de bovengrond (0-30 cm) zelfs lager dan zonder (zij het niet significant). Het lijkt erop dat het fysiotoopmodel het licht verhoogde organischestofgehalte bij cultuurdekken (bij droge Gt's en ombrotrofe fysiotoopen) niet goed kan scheiden van de veel hogere organischestofgehalten bij nattere en rijkere fysiotoopen.

De geleidelijke afname van het organischestofgehalte met de diepte (zoals in tabel 11) geldt alleen voor de zand- en kleigronden. Voor de veengronden wordt echter een toename met de diepte geschat, wat kan samenhangen met de aanwezigheid van

een veraarde bovengrond.

*Tabel 19 Schatting van het gehalte organische stof ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) onder de weinig belaste vegetatietypen<sup>1)</sup> als functie van fysiotoop en laag op basis van de uitkomsten van het regressiemodel*

Grondwater-trap	Laag	Basenstatus grondwater / Grondsoort						
		Ombroetroof			Basenarm		Basenrijk	
		Veen	Zand	-/+ cultuurdek	Veen	Zand	Veen	Klei
I	0-10 cm	756	273		613	161	443	263
	10-30 cm	866	284		698	124	517	253
	30-60 cm	813	15		822	15	528	16
II-II*	0-10 cm	713	232		560	134	390	223
	10-30 cm	824	223		626	93	437	197
	30-60 cm	827	16		835	17	551	17
III-III*-IV	0-10 cm	599	154		433	85	277	147
	10-30 cm	688	119		440	46	267	103
	30-60 cm	856	20		863	21	604	21
V-V*	0-10 cm	472	98	79	314	53	187	94
	10-30 cm	508	59	48	269	22	146	51
	30-60 cm	881	24	25	887	26	655	26
VI-VII-VIII	0-10 cm	418	80	65	269	43	156	77
	10-30 cm	428	44	35	211	16	110	38
	30-60 cm	890	27	28	896	28	675	29

<sup>1)</sup> Cursieve waarden: 'onwaarschijnlijke' of 'instabiele' fysiotoopen: minerale bodems met Gt I en organische gronden met Gt  $\geq$  V

## 3.2 Stikstof- en fosforgehaltes

### 3.2.1 Algemene karakterisering

De stikstof (N)- en fosfor (P)-gehaltes variëren beide aanzienlijk, van vrijwel 0 tot resp. 28 en 10  $\text{g kg}^{-1}$  (tabel 20). Ook de voorraden hebben een scheve verdeling, hoewel de piekwaarden relatief minder hoog zijn. Het N-gehalte, uitgedrukt als fractie van het organischestofgehalte, en de C/N-ratio laten zien dat de N-voorziening sterk varieert, van marginaal ( $N_{O.S.} = 1,2$  en  $C/N = 43$ ) tot zeer ruim ( $N_{O.S.} = 5$  en  $C/N = 8,5$ ). De P-voorziening varieert evenzeer, namelijk van  $P_{O.S.}=0,03$  ( $C/P=1800$ ) tot  $P_{O.S.}=2,1$  ( $C/P=20$ ). Voor ongeveer de helft van de locaties (of de monsters) is de N-voorziening meer beperkend dan de P-voorziening, wanneer hiervoor het criterium voor bossen gebruikt wordt ( $N/P < 10$ ). Het criterium voor korte vegetaties ( $N/P < 15$ ) resulteert in een nog groter percentage.

Tabel 20 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de gehalten, voorraden en ratio's van N en P

Percentiel-waarde	N <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			P <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			Nutriëntratio (kg kg <sup>-1</sup> )		
	Gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorraad <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorraad <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	C/N	C/P	N/P
Aantal	133	133	111	133	133	111	133	133	133
Minimum	0,33	1,2	0,51	0,05	0,03	0,04	8,5	20	1,6
5-percentiel	0,50	1,5	0,68	0,07	0,05	0,07	11	33	2,2
50-percentiel	2,3	2,2	1,8	0,37	0,23	0,21	21	156	9,6
95-percentiel	22	4,3	5,5	2,9	1,5	1,1	31	931	32
Maximum	28	5,1	6,0	10	2,1	2,3	43	1 829	53

<sup>1)</sup> Voorraden uitsluitend voor de bodemmonsters, niet voor de strooiselmonsters, in ton.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>.

De gehalten aan N en P van de locaties waar de lagen 0-10 cm en 10-30 cm apart bemonsterd zijn, zijn duidelijk hoger dan die van de locaties waar de laag 0-30 cm als één geheel is bemonsterd (tabel 21). Dat geldt ook voor de gehalten als fractie van de organische stof en voor de voorraden.

Binnen de laag 0-30 cm is een duidelijke afname te zien met de diepte voor het N-gehalte en de N-voorraad (tabel 21). Deze afname zet zich voort bij grotere diepte. De C/N-ratio neemt licht toe met de diepte (0-10 cm vs. 10-30 cm) en blijft vervolgens min of meer constant (0-30 cm vs. 30-60 cm). Het N<sub>O.S.</sub> in de strooisellaag kan het beste vergeleken worden met de waarden voor de laag 0-30 omdat deze beide uit bossen komen. Op deze locaties het N<sub>O.S.</sub>-gehalte in de strooisellaag hoger dan in de laag 0-30 cm en vergelijkbaar met dat in de laag 30-60 cm. De C/N-ratio is in de strooisellaag echter duidelijk hoger dan in de onderliggende bodem.

Het P-gehalte en de P-voorraad nemen duidelijk af van de laag 0-10 cm naar de laag 10-30 cm (tabel 21). Tussen de lagen 0-30 cm en 30-60 cm (op andere locaties) zijn geen verschillen meer. Het P<sub>O.S.</sub>-gehalte neemt af in de bovengrond en neemt (op andere locaties) weer toe dieper in het profiel, wat precies tegengesteld is aan het verloop van de C/P- (en de N/P-)ratio.

Combinatie van de gemeten resultaten voor de laag 0-30 cm en de gewogen gemiddelde waarden voor de lagen 0-10 cm en 10-30 cm resulteert in de frequentieverdelingen van tabel 22. Deze verdelingen komen redelijk overeen met de verdeling die voor alle monsters tezamen was gevonden (tabel 20), met dien verstande, dat nu voor alle locaties één waarde opgenomen is, die bovendien volkomen vergelijkbaar is met die voor andere locaties. Binnen de nieuwe verdelingen voor de gehalten en de voorraden hebben de locaties met oorspronkelijk 0-30 cm een hoge frequentie in het lage bereik en de gelumpde locaties een hoge vertegenwoordiging in het hoge bereik (tabel 21). Voor de C/N- en C/P-ratio's geldt het omgekeerde.

**Tabel 21** Mediane waarden van de gehalten, voorraden en ratio's van N en P voor de afzonderlijke bodemlagen

Laag	Aantal waarden	N <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			P <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			Nutriënt-ratio (g.g <sup>-1</sup> )		
		Gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorraad <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorraad <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	C/N	C/P	N/P
Strooisel	22	16	2,2		0,60	0,08		27	739	28
0 - 10 cm	35	4,6	2,9	3,0	0,61	0,47	0,58	15	96	7,3
10 - 30 cm	33	2,4	2,6	2,3	0,33	0,33	0,35	17	131	9,2
0 - 30 cm	28	1,2	1,9	1,6	0,11	0,20	0,14	23	215	9,7
30 - 60 cm	30	0,55	2,1	0,79	0,11	0,37	0,15	22	115	4,7
Verkl. Variantie (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> ) <sup>2)</sup>		92	22	48	85	61	35	82	58	69

<sup>1)</sup> Voorraden alleen voor de bodemlagen, uitgedrukt in ton.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>

<sup>2)</sup> Gebaseerd op de verschillen binnen de locaties ten opzichte van de laag 0-30 cm (gemeten waarde ofwel gewogen gemiddelde waarde van 0-10 cm en 10-30 cm)

**Tabel 22** Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de gehalten en ratio's van N en P in de bovengrond (0-30 cm)

Percentiel-waarde	N <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			P <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			Nutriënt-ratio (g.g <sup>-1</sup> )		
	Gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorraad <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Gehalte (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorraad <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	C/N	C/P	N/P
Aantal	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Minimum	0,50	1,3	0,75	0,06	0,04	0,06	10	25	1,6
5-percentiel	0,67	1,5	0,97	0,07	0,04	0,07	11	33	2,3
50-percentiel	1,5	2,2	1,8	0,29	0,23	0,19	19	186	9,1
95-percentiel	22	4,2	5,4	2,7	1,5	0,99	31	1100	33
Maximum	27	4,4	6,0	10	1,7	2,2	38	1223	39

<sup>1)</sup> Voorraden uitgedrukt in ton.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>

### 3.2.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria

Het absolute N-gehalte in de bovengrond (0-30 cm) vertoont een continue afname met oplopende Gt (tabel 23). De hoogste waarden voor het N<sub>O.S.</sub>-gehalte en de N-voorraad zijn echter gevonden voor Gt II. Gt VI-VIII heeft na beide transformatie de laagste waarden. De C/N-ratio vertoont een patroon dat correspondeert met dat voor het N<sub>O.S.</sub>-gehalte: de laagste waarde voor Gt II en de hoogste voor Gt VI-VIII (direct gevolgd door Gt I en Gt III/IV).

De P-variabelen vertonen een onregelmatige afname met toenemende Gt, met meestal de hoogste waarde bij Gt II (tabel 23). De C/P-ratio's zijn verreweg het hoogst voor Gt I, met de laagste waarden voor Gt II en Gt V. De N/P-ratio's laten zien dat P het meest beperkende nutriënt is bij Gt I en N bij Gt III/IV en Gt V.

Tabel 23 De gehalten, voorraden en ratio's van N en P als functie van de grondwatertrap

Grondwatertrap	Aantal waarden	N <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			P <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			Nutriëntratio (g.g <sup>-1</sup> )		
		Gehalte e (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorr. <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Gehalte e (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorr. <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	C/N	C/P	N/P
Gt I	4	17	2,6	3,6	1,1	0,16	0,23	22	683	24
Gt II	12	14	4,1	4,2	1,7	0,46	0,51	12	105	9,1
Gt III-III*-IV	11	2,8	2,2	2,3	0,29	0,33	0,26	20	130	7,2
Gt V-V*	11	1,4	2,7	1,7	0,33	0,48	0,40	16	102	6,0
Gt VI-VII-VIII	23	1,1	1,9	1,3	0,09	0,17	0,12	24	240	11
<i>Verkl. variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		74	20	56	54	1	16	15	0	0
<i>idem, door LKN Gt-indeling</i>		68	21	55	57	4	20	15	3	0

<sup>1)</sup> Voorraden uitgedrukt in ton.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>

Zowel voor N als voor P nemen de totaalgehalten toe met een toenemende basenrijkdom van het grondwater (tabel 24). Dit geldt ook voor de gehalten uitgedrukt als fractie van de organische stof en voor de voorraden. De locaties met ombrotroef grondwater onderscheiden zich scherp van de twee meer basenrijkere typen door de duidelijk hogere waarden voor alle drie ratio's. De verschillen in deze ratio's tussen de twee andere typen zijn gering.

Tabel 24 De gehalten, voorraden en ratio's van N en P als functie van de basenstatus van het grondwater

Basenstatus van het grondwater	Aantal waarden	N <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			P <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			Nutriëntratio (g.g <sup>-1</sup> )		
		Gehalte e (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorr. <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Gehalte e (g.kg <sup>-1</sup> )	In O.S. (%)	Voorr. <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	C/N	C/P	N/P
Ombrotroef	40	1,3	1,9	1,6	0,11	0,17	0,12	24	238	11
Basenarm	11	3,2	3,9	3,3	0,57	0,40	0,50	12	108	6,1
Basenrijk	10	12	4,1	4,5	1,7	0,53	0,57	12	93	6,8
<i>Verkl. variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		31	54	53	49	24	43	46	21	7

<sup>1)</sup> Voorraden uitgedrukt in ton.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>

De hoogste N- en P-gehalten zijn aangetroffen in de veengronden (tabel 25). Voor N geldt dat ook voor het gehalte in de organische stof en voor de voorraad. Voor P zijn de hoogste waarden voor de variabelen echter aangetroffen in de kleigronden. De laagste N- en P-gehalten zijn in alle gevallen aangetroffen in de zandgronden, evenals de hoogste waarden voor de C/N- en C/P-ratio's. De vrij lage waarde voor de N/P-ratio duidt erop, dat N het meest beperkend van de twee nutriënten is in de zandgronden. De laagste C/P- en N/P-ratio's en bijna de laagste C/N-ratio's zijn aangetroffen in de kleigronden, wat erop duidt dat deze gronden (potentieel) zowel een goede N- als een goede P-voorziening hebben.

Het N<sub>O.S.</sub>-gehalte in de strooisellaag van de loofbossen is duidelijk hoger dan dat van de naaldbossen en de C/N-ratio duidelijk lager (tabel 26). Dit verschil is al eerder gevonden voor de 150 en 100 bosopstanden (De Vries & Leeters, 1998; Klap et al., 1998). Dit verschil hangt vermoedelijk vooral samen met de aard van de strooisel

(chemische en fysische kenmerken ervan). Een mogelijk effect van een rijkere bodem kon namelijk niet gevonden worden, omdat op de locaties met een rijkere bodem geen strooisellaag aangetroffen is. De P-gehalten in de strooisellaag verschillen nauwelijks, zeker wanneer ze uitgedrukt worden als fractie van de organische stof.

Tabel 25 De gehalten, voorraden en ratio's van N en P als functie van de grondsoort

Grondsoort	Aantal waarden	N <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			P <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			Nutriëntratio (g.g <sup>-1</sup> )		
		Gehalt In O.S. Voorr. <sup>1)</sup>		Voorr. <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Gehalt In O.S. Voorr. <sup>1)</sup>		Voorr. <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	C/N	C/P	N/P
		e (g.kg <sup>-1</sup> )	(%)		e (g.kg <sup>-1</sup> )	(%)				
Veen	15	14	4,0	4,2	1,9	0,39	0,51	12	125	11
Zand	42	1,3	2,0	1,6	0,11	0,21	0,14	22	201	9,1
Klei	4	2,2	3,4	2,6	0,51	0,57	0,54	14	85	6,2
<i>Verkl. variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		84	18	41	56	3	9	7	2	4
<i>idem, incl. cultuurdek</i>		84	17	42	55	3	8	6	2	5

<sup>1)</sup> Voorraden uitgedrukt in ton.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>

Tabel 26 De gehalten, voorraden en ratio's van N en P als functie van het vegetatietype

Vegetatietype	Aantal waarden	N <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			P <sub>tot</sub> -gehalte/voorraad			Nutriëntratio (g.g <sup>-1</sup> )		
		Gehalt In O.S. Voorr. <sup>1)</sup>		Voorr. <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Gehalt In O.S. Voorr. <sup>1)</sup>		Voorr. <sup>1)</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	C/N	C/P	N/P
		e (g.kg <sup>-1</sup> )	(%)		e (g.kg <sup>-1</sup> )	(%)				
<i>Strooisellaag:</i>										
Donker naaldbos	7	17	2,2	-	0,60	0,08	-	28	732	28
Licht naaldbos	9	15	2,1	-	0,51	0,08	-	27	739	28
Loofbos	4	16	2,6	-	0,55	0,08	-	22	710	31
Heide	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jeneverbesheide	2	18	2,4	-	0,74	0,10	-	-	-	25
<i>Bovengrond:</i>										
Donker Naaldbos	8	1,3	1,9	1,6	0,09	0,16	0,11	24	268	12
Licht naaldbos	10	0,99	1,7	1,3	0,09	0,19	0,11	25	228	9,1
Loofbos	8	2,0	2,1	2,3	0,19	0,20	0,19	21	213	11
Heide	10	6,0	1,6	1,8	0,21	0,07	0,08	29	770	25
Jeneverbesheide	2	1,1	2,1	1,4	0,12	0,23	0,16	21	191	9,3
Ext. grasland 'C'	12	3,4	3,9	3,3	0,54	0,47	0,51	12	100	6,1
Ext. grasland 'G'	6	12	3,9	4,4	1,3	0,39	0,44	12	116	7,9
Int. grasland	5	1,8	3,3	2,2	0,64	1,0	0,81	14	49	3,7
Maisakker	2	0,90	2,7	1,3	0,38	1,3	0,55	16	37	2,3
<i>Verkl. variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		26	63	45	40	64	64	66	63	51
<i>idem, door veg.strukturtype</i>		20	58	35	37	57	57	61	57	44
<i>plus 'natuur' vs. 'cultuur'</i>		20	58	36	37	57	56	60	56	44

<sup>1)</sup> Voorraden alleen voor de bodemlagen, uitgedrukt in ton.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>

In de bovengrond zijn de hoogste N<sub>O.S.</sub>-gehalten aangetroffen onder de beide extensief beheerde graslanden en de laagste onder heide en naaldbos (tabel 26). De hoogste

P-gehalten zijn aangetroffen onder intensief gebruikt grasland en onder maisland. Dit zijn hoogstwaarschijnlijk de effecten van regelmatige bemesting. De gelijktijdige N-bemesting is minder herkenbaar, wat af te leiden is uit het feit dat de C/P- en N/P-ratio's beide erg laag zijn. De verschillen tussen enerzijds de extensief beheerde graslanden en anderzijds de heide- en boslocaties hangen vermoedelijk samen met de concentratie van de graslandtypen op de wat basenrijkere fysiotopten en de concentratie van de bos- en heidelocaties in ombrotrofe fysiotopten. De C/N-ratio's van de extensief beheerde typen grasland zijn zelfs lager dan die van de bemeste vegetatietypen, wat erop duidt dat het effect van het rijkere grondwater op de extensieve graslanden groter is dan het effect van de bemesting op de intensieve graslanden. De laagste  $P_{O.S.}$ -gehalten en verreweg de hoogste C/P- en N/P-ratio's onder heide duiden erop dat dit type een zwaartepunt heeft in ombrotrofe fysiotopten, verdeeld over zand en veen.

### 3.2.3 Relaties met het fysiotoopmodel

De variatie in de N- en P-variabelen in de bovengrond (0-30 cm) wordt goed verklaard door de factoren die het fysiotooptype bepalen (tabel 27). Voor P gaat de verklaarde variantie bovendien nog duidelijk vooruit wanneer het vegetatietype toegevoegd wordt als verklarende factor.

De beste verklarende factor voor het N-gehalte is de grondsoort (tabel 27). Aangezien de grondsoort ook de variatie in belangrijke mate van de verschillen in bulkdichtheid en organischestofgehalte bepaalt, worden de afgeleide waarden ( $N_{O.S.}$  en N-voorraad) niet meer door de grondsoort bepaald, maar door de meer verborgen factoren basenrijkdom van het grondwater en de Gt. Ook voor P verdwijnt de grondsoort uit het 'beste' model voor de beide afgeleide variabelen.

Voor de ratio's C/N, C/P en N/P geeft het vegetatietype duidelijk een extra verklaring voor de variatie in de gevonden waarden ten opzichte van het kale fysiotoopmodel (tabel 27). Het vegetatietype komt dan ook telkens terug in het beste verklarende model. De C/N-ratio wordt zelfs voor driekwart verklaard door uitsluitend de basenrijkdom van het grondwater en het vegetatietype. Voor de C/P- en N/P-ratio komt daar de grondsoort bij.

Voor alle N- en P-variabelen is een duidelijk verloop met de diepte aangetroffen, met uitzondering van de C/N-ratio (tabel 28 en 21). Het verloop met de diepte van de kale N- en P-gehalten is, statistisch gezien, in alle fysiotopten en onder alle vegetatietype vergelijkbaar. Dit geldt ook voor het verloop met de diepte van de N/P-ratio.

Voor de meeste afgeleide variabelen is de correlatie met de diepte minder sterk, en levert de selectie van het beste model de toevoeging van één of meer extra verklarende factoren op (tabel 28). Voor de beide afgeleide N-waarden en de C/N-ratio zijn dat ook de grondsoort en de aan/afwezigheid van een cultuurdek. Voor het  $N_{O.S.}$ -gehalte en de C/N-ratio is het verloop met de diepte bovendien afhankelijk van de Gt. Dit duidt erop dat bij natte Gt's een sterkere afname met de diepte optreedt



dan bij de drogere als gevolg van een hogere denitrificatie. Voor alle afgeleide P-gehalten en de C/P-ratio hangt het verloop met de diepte af van de Gt.

*Tabel 27 Resultaten van de regressie-analyse voor de hoofdeffecten van de gehalten, voorraden en ratio's van N en P*

Geanalyseerde grootheid	Volledig fysiotoop <sup>1)</sup>		id. + vegetatietype		Beste statistische model		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Significantie <sup>2)</sup>	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Significantie <sup>2)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Significantie <sup>2)</sup>
N-gehalte	90	***	90	*** -	Grond + Gt	89	***
N <sub>0,5</sub> -gehalte	52	***	76	*** vvv	Basen + Veg	7	***
N-voorraad	67	***	73	*** v	Gt + Basen	67	***
P-gehalte	73	***	86	*** vvv	Grond + Basen + Veg + Gt	86	***
P <sub>0,5</sub> -gehalte	33	***	70	*** vvv	Basen + Veg + Gt	70	***
P-voorraad	43	***	73	*** vvv	Basen + Veg	74	***
C/N-ratio	46	***	72	*** vvv	Basen + Veg	69	***
C/P-ratio	32	***	69	*** vvv	Basen + Grond + Veg	69	***
N/P-ratio	23	***	56	*** vvv	Basen + Grond + Veg	56	***

<sup>1)</sup> bestaande uit onafhankelijke combinatie van Basen+Gt+Grond+Dek

<sup>2)</sup> significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001 (v: idem voor bijdrage vegetatietype).

*Tabel 28 Resultaten van de regressie-analyse voor het diepte-effect en de diepte-interacties voor de gehalten en ratio's van N en P*

Geanalyseerde grootheid	Laageffect		Laageffect + laaginteracties (beste model)		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Significantie <sup>1)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Significantie
N-gehalte	93	***	Laag + Laag.(Grond + Dek)	95	***
N <sub>0,5</sub> -gehalte	23	***	Laag + Laag.(Gt + Basen + Dek)	50	***
N-voorraad	49	***	Laag + Laag.Grond	66	***
P-gehalte	86	***	Laag + Laag.(Gt + Basen + Grond)	90	***
P <sub>0,5</sub> -gehalte	62	***	Laag + Laag.Gt	69	***
P-voorraad	32	***	Laag + Laag.(Grond + Gt)	82	***
C/N-ratio	9	**	Laag + Laag.(Grond + Dek + Basen)	38	***
C/P-ratio	58	***	Laag + Laag.Gt	68	***
N/P-ratio	69	***	Laag + Laag.(Gt + Veg + Grond + Basen)	85	***

<sup>1)</sup> significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001.

De invulling van het fysiotoopmodel op basis van de regressie-analyse laat zien dat de C/N-ratio in de bovengrond afnemen met toenemende basenrijkdom van het grondwater (tabel 29). De verschillen tussen de grondsoorten zijn relatief klein en er is ook nauwelijks verloop met de Gt.

Verschillen tussen de Gt's en tussen de grondsoort zijn nauwelijks waarneembaar, wat al te verwachten viel uit de selectie van relevante factoren (tabel 27). Ook voor de strooisellaag worden de belangrijkste verschillen gevonden tussen fysiotoopen met ombrotroef en basenarm grondwater (tabel 29). De analogie met de waarden voor

de bovengrond kan echter ook samenhangen met de modelopbouw (Par. 2.4). Verder zijn de C/N-ratio's van de strooisellagen op zandgronden met een cultuurdek beduidend hoger dan op gronden zonder een dergelijk dek. Dit is echter moeilijk te rijmen met de te verwachten grotere voedselrijkdom bij de aanwezigheid van een cultuurdek.

Het verloop met de diepte vertoont een duidelijk patroon dat diagonaal door de tabel loopt van linksboven naar rechtsonder (tabel 29). In de natte, voedselarme fysiotopen (linksboven) loopt de C/N-ratio sterk af met de diepte, terwijl er in de droge, basenrijke fysiotopen (rechtsonder) juist een toename met de diepte is.

*Tabel 29 Schatting van de C/N-ratio (g.g<sup>-1</sup>) onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van fysiotoop<sup>1)</sup> en laag op basis van de uitkomsten van het regressiemodel*

Grondwater-trap	Laag	Basenstatus grondwater / Grondsoort						
		Ombrotroof			Basenarm		Basenrijk	
		Veen	Zand	-/+ cultuurdek	Veen	Zand	Veen	Klei
<b><u>Strooisellaag:</u></b>								
I		29	26		18	16	Onder basenrijke omstandigheden is doorgaans geen strooisellaag aanwezig.	
II-II*		28	26		17	16		
III-III*-IV		28	25		17	15		
V-V*		28	25	33	17	15		
VI-VII-VIII		28	25	33	17	14		
<b><u>Minerale bodemlagen:</u></b>								
I	0-10 cm	23	22		15	14	12	15
	10-30 cm	29	27		17	16	13	16
	30-60 cm	15	15		8,3	8,5	12	17
II-II*	0-10 cm	24	22		16	15	12	16
	10-30 cm	28	26		17	15	12	15
	30-60 cm	18	19		10	10	15	20
III-III*-IV	0-10 cm	24	22		16	15	12	16
	10-30 cm	27	25		16	15	12	15
	30-60 cm	21	22		12	12	27	24
V-V*	0-10 cm	24	22	20	16	15	12	15
	10-30 cm	27	23	22	16	14	12	14
	30-60 cm	23	22	18	13	13	19	26
VI-VII-VIII	0-10 cm	24	23	20	16	15	12	16
	10-30 cm	27	24	21	16	14	11	14
	30-60 cm	25	25	19	14	14	20	27

<sup>1)</sup> Cursieve waarden: 'onwaarschijnlijke' of 'instabiele' fysiotopen: minerale bodems met Gt I en organische gronden met Gt ≥ V

### 3.3 Oxalaat-extraheerbaar Fe, Al en P

#### 3.3.1 Algemene karakterisering

Het aluminium, ijzer en fosfaat dat met oxalaat uit het bodemmateriaal geëxtraheerd kan worden, vertegenwoordigt de fractie van deze elementen die grotendeels in secundaire mineralen is vastgelegd. De secundaire ijzer- en aluminiummineralen ontstaan tijdens de bodemontwikkeling als gevolg van verwerking van primaire mineralen (waarbij natuurlijke bodemverzuring optreedt). Daarnaast kan ook een groot deel van de door kwel geaccumuleerde voorraad ijzer in de fractie oxalaat-extraheerbaar ijzer terecht gekomen zijn. Bij verdere (antropogene) bodemverzuring spelen deze secundaire mineralen een belangrijke rol in de buffering van de zuuraanvoer. De actuele gehalten van deze elementen hangen af van de historische bodemvormende processen en de actuele bodemverzuring. De aanwezige secundaire ijzer- en aluminiummineralen vormen de belangrijkste bindingsplaats voor fosfaat in de bodem, dat daarom ook als oxalaat-extraheerbaar fosfaat gekenschetst wordt. De mate waarin de bindingsplaatsen bezet worden hangt af van de actuele gehalten van de ijzer- en aluminiummineralen en de beschikbaarheid van fosfaat (ook door bemesting!). De effectiviteit van de binding hangt af van diverse fysische en chemische omstandigheden, zoals de redoxtoestand (vooral voor ijzer) en de zuurgraad (vooral voor aluminium). Deze zijn hiermee ook van belang voor de beschikbaarheid en mogelijke toxiciteit van deze elementen in de bodemplossing.

In deze paragraaf worden de resultaten gepresenteerd voor de gehalten aan met oxalaat extraheerbaar aluminium, ijzer en fosfaat (resp.  $Al_{ox}$ ,  $Fe_{ox}$  en  $P_{ox}$ ) in de 'minerale' bodem. Verder is een overzicht gegeven van de voorraden en van de verhouding tussen  $P_{ox}$  en  $P_{tot}$  (i.e. globaal de verhouding tussen het relatief gemakkelijk beschikbare P en het totaal aanwezige P) en de verhouding tussen  $P_{ox}$  en de som van  $Al_{ox}$  en  $Fe_{ox}$  (i.e. de mate waarin de beschikbare adsorptieplaatsen bezet zijn, een maat voor de fosfaatverzadiging).

De gehalten  $Al_{ox}$ ,  $Fe_{ox}$  en  $P_{ox}$  hebben alle een zeer ruime spreiding die bovendien tamelijk scheef is (tabel 30). Voor  $Fe_{ox}$  en  $P_{ox}$  kunnen de uitschieters naar boven in belangrijke mate verklaard worden door de verschillen in bulkdichtheid (tussen minerale en organische gronden), wat blijkt uit de veel lagere piekwaarden voor de voorraden van deze elementen. De hoge waarden voor het  $Al_{ox}$ -gehalte hangen niet samen met de bulkdichtheid, want voor dit element is de spreiding in voorraden nog groter dan die in de gehalten. Blijkbaar komen hier de hoogste gehalten ook voor in de gronden met de hoogste bulkdichtheid.

De ratio van  $P_{ox}$  ten opzichte van de som van  $Al_{ox}$  en  $Fe_{ox}$  ( $= P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$ ) loopt van bijna 0 tot dichtbij 1 (0,87), waarbij de mediane waarde met 0,11 onderin dit spectrum ligt (tabel 30). Het aandeel van  $P_{ox}$  in de totale hoeveelheid P ( $= P_{tot}$ ) varieert van ongeveer 10% tot vrijwel 100%, met een mediaan die vrijwel in het midden ligt.

Tabel 30 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de gehalten, voorraden en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P

Percentiel-waarde	Gehalte (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Voorraad (kmol <sub>c</sub> .ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )			P <sub>ox</sub> /(Al+Fe) <sub>ox</sub> ratio (mol.mol <sup>-1</sup> )	P <sub>ox</sub> /P <sub>tot</sub> ratio (%mol <sub>c</sub> .mol <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )
	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>		
Aantal	115	115	111	113	113	111	111	111
Minimum	9,6	1,4	0,37	2,7	2,0	0,18	0,02	9,6
5-percentiel	17	3,5	0,82	7,8	3,4	0,53	0,02	20
50-percentiel	52	28	3,5	45	33	3,4	0,11	52
95-percentiel	160	1 084	45	202	282	27	0,56	83
Maximum	238	1 327	127	299	374	30	0,87	98

Over het algemeen zijn de Al<sub>ox</sub>-gehalten op de locaties waar de lagen 0-10 cm en 10-30 cm apart bemonsterd zijn lager dan op de locaties waar deze laag als één geheel bemonsterd is (tabel 31). Dit hangt samen de verschillen in de verdeling over de fysiotopen van de locaties waar deze lagen afzonderlijk bemonsterd zijn en de locaties waar deze laag als één geheel bemonsterd is (paragraaf 3.3.2). Voor het Fe<sub>ox</sub>- en P<sub>ox</sub>-gehalte is dat precies omgekeerd, evenals voor de P<sub>ox</sub>/(Al+Fe)<sub>ox</sub>-ratio.

De gehalten en voorraden Al<sub>ox</sub> en Fe<sub>ox</sub> nemen toe met de diepte, zowel binnen de laag 0-30 cm (0-10 cm vs. 10-30 cm) als tussen de laag 0-30 cm en 30-60 cm (tabel 31). De P<sub>ox</sub>-gehalten en -voorraden nemen af met de diepte binnen de bovengrond en vervolgens weer toe (zij het op een verschillend niveau) naar 30-60 cm. De P<sub>ox</sub>/(Al+Fe)<sub>ox</sub>-ratio verloopt vooral binnen de bovengrond, terwijl de P<sub>ox</sub>/P<sub>tot</sub>-ratio vooral verschilt tussen de boven- en ondergrond.

Tabel 31 Mediane waarden van de gehalten, voorraden en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P voor de afzonderlijke bodemlagen

Laag	Aantal waarden	Gehalte (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Voorraad (kmol <sub>c</sub> .ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )			P <sub>ox</sub> /(Al+Fe) <sub>ox</sub> ratio (mol.mol <sup>-1</sup> )	P <sub>ox</sub> /P <sub>tot</sub> %-ratio (mol <sub>c</sub> .mol <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )
		Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>		
Strooisel	0								
0 - 10 cm	35	47	47	14	29	50	9,2	0,15	49
10 - 30 cm	33	49	48	7,1	38	56	5,3	0,10	51
0 - 30 cm	28	63	18	1,7	66	22	2,2	0,07	52
30 - 60 cm	30	70	24	2,3	84	29	3,1	0,07	61
Verkl. Var (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> ) <sup>1)</sup>		10	4	18	83	94	91	37	2

<sup>1)</sup> Gebaseerd op de verschillen binnen de locaties ten opzichte van de laag 0-30 cm (gemeten waarde ofwel gewogen gemiddelde waarde van 0-10 cm en 10-30 cm)

Combinatie van de gemeten resultaten voor de laag 0-30 cm en de gewogen gemiddelde waarden voor de lagen 0-10 cm en 10-30 cm resulteert in de frequentieverdelingen van tabel 32. Deze verdelingen komen aardig overeen met de verdeling die voor alle monsters tezamen was gevonden (tabel 30), met dien verstande, dat nu voor alle locaties één waarde opgenomen is, die bovendien volkomen vergelijkbaar is met die voor andere locaties. Binnen de kansverdeling voor de Al<sub>ox</sub>-gehalten hebben de locaties met oorspronkelijk 0-30 cm een hoge frequentie

in het hoge bereik en de gelumpde locaties een hoge vertegenwoordiging in het hoge bereik. Voor de  $Fe_{ox}$ - en  $P_{ox}$ -gehaltenes en de  $P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$ -ratio geldt het omgekeerde.

Tabel 32 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de gehaltenes, voorraden en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P in de bovengrond (0-30 cm)

Percentiel-waarde	Gehalte (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Voorraad (kmol <sub>c</sub> .ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )			$P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$ ratio (mol.mol <sup>-1</sup> )	$P_{ox}/P_{tot}$ ratio (%mol <sub>c</sub> .mol <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )
	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>		
Aantal	61	61	61	61	61	61	61	61
Minimum	12	3,5	0,79	2,7	2,9	0,34	0,02	12
5-percentiel	17	3,6	1,0	8,2	3,8	0,56	0,02	22
50-percentiel	49	27	3,3	53	30	3,2	0,10	50
95-percentiel	168	1 047	40	211	293	23	0,50	84
Maximum	238	1 327	127	299	327	29	0,81	96

### 3.3.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria

De gehaltenes en voorraden van Al<sub>ox</sub> vertonen over het algemeen een toename met toenemende grondwatertrap, terwijl deze waarden voor Fe<sub>ox</sub> en P<sub>ox</sub> juist een afname vertonen met toenemende Gt (tabel 33). Uitzonderingen hierop lijken de waarden bij Gt I en II. Dit hangt vermoedelijk samen met het grote aandeel ombrotrofe veengronden bij Gt I en het grote aandeel locaties met sterke kwel bij Gt II. De beide ratio's van P<sub>ox</sub> vertonen een weinig significant verband met de Gt (tabel 33). De hoogste waarden lijken in het midden voor te komen, met een piek bij Gt V.

Tabel 33 De gehaltenes, voorraden en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P als functie van de grondwatertrap

Grondwater-trap	Aantal waarden	Gehalte (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Voorraad (kmol <sub>c</sub> .ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )			$P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$ ratio (mol.mol <sup>-1</sup> )	$P_{ox}/P_{tot}$ % ratio (mol <sub>c</sub> .mol <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )
		Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>		
Gt I	4	65	455	13	12	93	2,6	0,08	30
Gt II	12	47	594	16	14	192	9,4	0,15	53
Gt III-III*-IV	11	49	28	3,7	53	30	4,1	0,11	50
Gt V-V*	11	43	18	8,0	57	22	9,3	0,32	72
Gt VI-VII-VIII	23	73	17	1,5	108	22	1,9	0,05	49
Verkl. Variantie (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )		6	41	38	51	12	4	9	8
idem, door LKN Gt-indeling		13	36	43	54	10	8	21	4

De gehaltenes en voorraden van Al<sub>ox</sub> vertonen over het algemeen een toename met afnemende basenrijkdom van het grondwater, terwijl deze waarden voor Fe<sub>ox</sub> en P<sub>ox</sub> juist een toename vertonen (tabel 34). Voor Al<sub>ox</sub> is het verloop sterker voor de voorraden, terwijl het verloop voor Fe<sub>ox</sub> en P<sub>ox</sub> juist het sterkst is voor de gehaltenes. De beide ratio's met P<sub>ox</sub> vertonen geen ( $P_{ox}/P_{tot}$ -ratio) of slechts een zwakke relatie ( $P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$ ) met de basenrijkdom van het grondwater.

Tabel 34 De gehalten, voorraden en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P als functie van de basenstatus van het grondwater

Basenstatus van het grondwater	Aantal waarden	Gehalte (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Voorraad (kmol <sub>c</sub> .ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )			P <sub>ox</sub> /(Al+Fe) <sub>ox</sub> x ratio (mol <sub>c</sub> .mol <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )	P <sub>ox</sub> /P <sub>tot</sub> % ratio (mol <sub>c</sub> .mol <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )
		Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>		
Ombrotroef	40	63	18	1,9	72	16	1,9	0,08	49
Basenarm	11	47	150	12	34	169	7,6	0,11	54
Basenrijk	10	45	594	28	19	175	9,8	0,18	53
<i>Verkl. Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		8	52	47	20	48	28	7	0

De hoogste Al<sub>ox</sub>-gehalten en voorraden zijn gevonden voor de zandgronden (tabel 35). In de veengronden zijn ook hoge gehalten gemeten, maar door de geringe bulkdichtheid zijn de voorraden juist het geringst. De veengronden hebben wel de hoogste waarden voor Fe<sub>ox</sub>, zelfs voor de voorraden. Deze hoge waarden hangen vermoedelijk samen met de accumulatie van Fe in de veengronden met kwelinvloed. Op diverse veenlocaties langs de benedenloop van de Drentse Aa kon het hoge aandeel ijzer(concreties) met het blote oog waargenomen worden. De grootste voorraden P<sub>ox</sub> zijn aangetroffen in de kleigronden, ondanks lagere gehalten dan in de veengronden. De kleigronden hebben ook de hoogste P<sub>ox</sub>/(Al+Fe)<sub>ox</sub>-ratio. De P<sub>ox</sub>/P<sub>tot</sub>-ratio's zijn het laagste in de veengronden.

Tabel 35 De gehalten, voorraden en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P als functie van de grondsoort

Grondsoort	Aantal waarden	Gehalte (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Voorraad (kmol <sub>c</sub> .ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )			P <sub>ox</sub> /(Al+Fe) <sub>ox</sub> x ratio (mol <sub>c</sub> .mol <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )	P <sub>ox</sub> /P <sub>tot</sub> % ratio (mol <sub>c</sub> .mol <sub>c</sub> <sup>-1</sup> )
		Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>		
Veen	15	52	723	23	12	203	4,8	0,10	39
Zand	42	57	17	1,9	67	22	2,4	0,09	55
Klei	4	33	58	8,6	39	72	9,2	0,25	53
<i>Verkl. Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		2	44	32	59	8	2	4	17
<i>idem, inclusief cultuurdek</i>		0	43	31	59	8	1	3	17

De hoogste Al<sub>ox</sub>-gehalten zijn aangetroffen onder de naaldbossen, de laagste op de locaties met jeneverbes (tabel 36). Binnen de bossen is er een afname van donker naaldbos naar loofbos. De hoogste Fe<sub>ox</sub>- en P<sub>ox</sub>-gehalten zijn aangetroffen onder gras, vooral onder het 'Carex'-type. De laagste gehalten zijn aangetroffen onder naaldbos, heide en jeneverbesstruweel. De hoogste P<sub>ox</sub>/(Al+Fe)<sub>ox</sub>- en P<sub>ox</sub>/P<sub>tot</sub>-ratio's zijn aangetroffen onder intensief gebruikt grasland en onder maïsland. Dit is een duidelijk teken dat deze types intensief bemest worden met P. De laagste P<sub>ox</sub>/(Al+Fe)<sub>ox</sub>-ratio's zijn aangetroffen onder naaldbos, terwijl de laagste P<sub>ox</sub>/P<sub>tot</sub>-ratio's zijn aangetroffen onder heide.

Tabel 36 De gehalten, voorraden en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P als functie van het vegetatietype

Vegetatietype	Aantal waarden	Gehalte (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Voorraad (kmol <sub>c</sub> .ha <sup>-1</sup> .dm <sup>-1</sup> )			P <sub>ox</sub> /(Al+Fe) <sub>ox</sub> ratio (mol <sub>c</sub> .mol <sup>-1</sup> )	P <sub>ox</sub> /P <sub>tot</sub> % ratio (mol <sub>c</sub> .mol <sup>-1</sup> )
		Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>		
Donk. naaldb.	8	151	14	1,5	182	21	1,9	0,04	54
Licht naaldbos	10	92	19	1,5	199	24	1,8	0,04	49
Loofbos	8	48	23	3,0	50	27	3,0	0,12	53
Heide	10	54	18	1,7	24	5,3	0,79	0,08	31
Jen.besheide	2	22	16	1,9	28	21	2,3	0,14	45
Ext. grasl. 'C'	12	47	142	11	35	152	10	0,17	61
Ext. grasl. 'G'	6	55	512	14	29	181	6,2	0,11	49
Int. grasland	5	45	69	16	62	87	15	0,50	78
Maïsland	2	57	29	9,4	83	42	13	0,37	77
Verkl. Variantie (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )		5	26	50	16	39	64	25	25
idem, door Veg.strukturtype		3	29	48	18	40	59	22	23
+ 'natuur' vs. 'cult.'		1	30	47	17	41	59	21	24

### 3.3.3 Relaties met het fysiotoopmodel

Het variatie in het Al<sub>ox</sub>-gehalte wordt nauwelijks verklaard door het fysiotoopmodel. De toevoeging van het vegetatietype geeft weinig maar verbetering (tabel 37). De Al<sub>ox</sub>-voorraad vertonen echter een sterke correlatie met het fysiotoopmodel, waarbij de grondsoort de belangrijkste verklarende variabele is (vergelijk ook tabel 35). De Fe<sub>ox</sub>- en P<sub>ox</sub>-gehalten worden redelijk goed door het fysiotoopmodel verklaard. De toevoeging van het vegetatietype geeft vooral voor P<sub>ox</sub> nog een verbetering. Voor alle Fe<sub>ox</sub>- en P<sub>ox</sub>-variabelen zijn de basenrijkdom van het grondwater en de grondsoort de belangrijkste predictor.

De combinatie van Gt en de aan/afwezigheid van een cultuurdek zijn belangrijke verklarende variabelen voor de ratio's P<sub>ox</sub>/(Al+Fe)<sub>ox</sub> en P<sub>ox</sub>/P<sub>tot</sub> (voor de laatste samen met de grondsoort en de basenrijkdom van het grondwater. Het verloop met de diepte hangt voor de P<sub>ox</sub>/(Al+Fe)<sub>ox</sub>-ratio samen met alle verklarende variabelen, behalve de grondsoort (tabel 38). De P<sub>ox</sub>/P<sub>tot</sub>-ratio vertoont een matige correlatie met de fysiografische hoofdfactoren.

Invulling van het fysiotoopmodel met de schattingen voor de P<sub>ox</sub>-voorraad in de laag 0-30 cm laat verder zien dat ook de Gt en de aanwezigheid van een cultuurdek van belang zijn (tabel 39), naast de significante relaties met basenrijkdom en grondsoort. De P<sub>ox</sub>-voorraad in veen is kleiner dan in zand (ombrotroef en basenarm) maar groter dan in klei (basenrijk). Verder neemt de P<sub>ox</sub>-voorraad (niet-significant) af met toenemende Gt en is hij groter bij de aanwezigheid van een cultuurdek. Dat laatste kan verklaard worden uit de antropogene oorsprong van een dergelijk dek.

Tabel 37 Resultaten van de regressie-analyse voor de hoofdeffecten voor de gehalten en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P

Geanalyseerde grootheid	Volledig fysiotoop 1)		id. + vegetatietype		Beste statistische model		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie 2)	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie 2)	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie 2)
Al <sub>ox</sub> -gehalte	4	-	13	- -	Basen	8,5	*
Fe <sub>ox</sub> -gehalte	71	***	76	*** v	Basen+Grond+Dek+Veg	68	***
P <sub>ox</sub> -gehalte	59	***	78	*** vvv	Basen+Grond+Dek+Gt+Veg	77	***
Al <sub>ox</sub> -voorraad	62	***	66	*** v	Grond + Gt	59	***
Fe <sub>ox</sub> -voorraad	54	***	64	*** vv	Basen+Grond+Dek+Veg	50	***
P <sub>ox</sub> -voorraad	41	***	71	*** vvv	Basen + Grond + Veg	72	***
P <sub>ox</sub> /(Al+Fe) <sub>ox</sub> -ratio	22	**	32	** v	Gt + Grond + Veg	30	***
P <sub>ox</sub> /P <sub>tot</sub> -ratio	32	***	48	*** vv	Grond + Basen + Veg	39	***

1) bestaande uit onafhankelijke combinatie van Basen+Gt+Grond+Dek

2) significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001 (v: idem voor bijdrage vegetatietype).

Tabel 38 Resultaten van de regressie-analyse voor het laageffect en de laaginteracties voor de gehalten en ratio's van oxalaat-extraheerbaar Al, Fe en P

Geanalyseerde grootheid	Laageffect		Laageffect + laaginteracties (beste model)		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie 1)	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie
Al <sub>ox</sub> -gehalte	10	**	Laag + Laag.(Grond + Dek + Gt + Veg)	59	***
Fe <sub>ox</sub> -gehalte	4	*	Laag + Laag.(Gt + Grond)	21	***
P <sub>ox</sub> -gehalte	18	***	Laag + Laag.(Grond + Dek)	38	***
Al <sub>ox</sub> -voorraad	83	***	Laag + Laag.(Grond + Dek + Veg + Basen)	96	***
Fe <sub>ox</sub> -voorraad	94	***	Laag + Laag.(Gt + Grond)	96	***
P <sub>ox</sub> -voorraad	91	***	Laag + Laag.Grond	94	***
P <sub>ox</sub> /(Al+Fe) <sub>ox</sub> -ratio	37	***	Laag + Laag.Dek	49	***
P <sub>ox</sub> /P <sub>tot</sub> -ratio	2	-	Laag + Laag.Grond	22	***

1) significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001.

Tabel 39 Schatting van de P<sub>ox</sub>-voorraad (kmol.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>) in de bovengrond (0-30 cm) onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van fysiotoop op basis van de uitkomsten van het regressiemodel 1)

Grondwater- trap	Basenstatus grondwater / Grondsoort						
	Ombrotroof		Basenarm		Basenrijk		
	Veen	Zand +/- cultuurdek	Veen	Zand	Veen	Klei	
I	1,1	4,2	2,9	11	17	13	
II-II*	0,83	3,2	2,2	8,6	13	9,7	
III-III*-IV	0,74	2,9	2,0	7,7	11	8,7	
V-V*	0,66	2,6	4,3	1,8	6,9	10	7,7
VI-VII-VIII	0,50	2,0	3,3	1,3	5,3	8	5,9

1) Cursieve waarden: 'onwaarschijnlijke' of 'instabiele' fysiotoopen: minerale bodems met Gt I en organische gronden met Gt ≥ V



### 3.4 pH en uitwisselbare kationen

#### 3.4.1 Algemene karakterisering

De pH van de vaste fase van de bodem vormt, samen met de pH van het bodemvocht (Hoofdstuk 5), een belangrijke indicator van de actuele zuurtoestand van de bodem. Deze is een resultaat van de (natuurlijke en antropogene) belasting van de bodem met verzurende stoffen en eigenschappen van de bodem (en het grondwater) om deze belasting te bufferen. De pH van de bodem is nauw gerelateerd aan de omvang en de bezetting van de kationenuitwisselcapaciteit (CEC). De omvang hiervan wordt bepaald door de hoeveelheden organische stof en klei in de bodem en de bezetting ervan door beschikbaarheid van de diverse kationen in de vergaande jaren tot tientallen jaren. Evenals de pH, is de bezetting van de CEC, en met name de basenverzadiging, een belangrijke indicator van de zuurtoestand van de bodem.

De pH(H<sub>2</sub>O)- en de pH(KCl)-waarden vertonen een grote spreiding (tabel 40); die loopt van sterk zure gronden tot zuur-neutrale gronden. Uitgesproken basisch reagerende gronden (pH>7) zijn niet aangetroffen. Zoals verwacht, liggen de waarden voor de pH(KCl) tussen een halve en een hele eenheid onder die van de pH(H<sub>2</sub>O).

De kationenuitwisselcapaciteit (CEC) varieert sterk (tabel 40), van bijna nihil tot zeer hoog. De CEC wordt bepaald door het organischestofgehalte en het kleigehalte van de monsters. Ook in de 'CEC-voorraden' is er een aanzienlijke, zij het geringere, spreiding. De top van de CEC-waarden wordt bepaald door veenmonsters. Of dit ook het geval is voor de CEC-voorraden of dat hier de top bepaald wordt door kleimonsters, is niet uitgezocht. Ook uitgedrukt als CEC van de organische stof is er nog een ruime spreiding. Deze kan zowel samenhangen met verschillen in de samenstelling van de organische stof als met het effect van de pH op de CEC van de organische stof als met geringe bijmenging met enkele procenten klei (niet gemeten), bijvoorbeeld van de veengronden in de beekdalen en de zandgronden op een keileemondergrond.

Tabel 40 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de pH en de CEC

Percentiel-waarde	pH (-)		CEC (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )		
	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	gemeten	in Org.Stof	Voorraad <sup>1)</sup>
Aantal	137	126	124	116 <sup>2)</sup>	113 <sup>3)</sup>
Minimum	3,3	2,6	11	234	17
5-percentiel	3,7	2,8	15	411	20
50-percentiel	4,5	3,9	64	783	68
95-percentiel	6,1	5,3	589	1 270	149
Maximum	6,7	6,0	927	1 956	184

<sup>1)</sup> CEC 'voorraad' uitgedrukt in kmol<sub>c</sub>.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>.

<sup>2)</sup> Alle monsters, met uitzondering van de klei- en strooiselmonsters.

<sup>3)</sup> Betreft alleen de grondmonster, niet de strooiselmonsters.

De bezetting van het adsorptiecomplex varieert sterk voor de verschillende kationen (tabel 41). De bezetting varieert van (bijna) 0 tot (bijna) 100% voor de H-, de Al en de Ca-bezetting (en dus ook voor de basen bezetting). In doorsnee zijn de H- en Al-bezetting vrij gering, terwijl mediaan voor de basenbezetting met 41% dicht bij 50% ligt. De bezetting met de overige kationen is over het algemeen hooguit enkele procenten, hoewel de Fe- de Mg en de K-bezetting toch ook uitschieters vertonen tot resp. 31%, 23% en 20%.

*Tabel 41 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de bezetting van het adsorptie-complex (CEC) met de diverse kationen*

Percentiel-waarde	Bezetting adsorptiecomplex (%)									
	H	Al	Fe	Mn	NH <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	Basen <sup>1)</sup>
Aantal	124 <sup>2)</sup>	122 <sup>3)</sup>	122 <sup>3)</sup>	122 <sup>3)</sup>	22	124	124	124	124	124
Minimum	0,00	0,00	0,01	0,00	0,49	0,37	0,39	0,00	0,00	1,8
5-percentiel	0,00	0,00	0,08	0,01	0,53	1,2	0,58	0,00	0,13	3,1
50-percentiel	18	12	2,4	0,34	2,5	26	3,0	0,87	1,1	41
95-percentiel	54	80	11	3,7	8,7	88	14	2,8	4,5	93
Maximum	100	89	31	7,6	9,1	94	23	3,7	20	97

<sup>1)</sup> Basen (basische kationen) op basis van de som van Ca, Mg, Na en K in de afzonderlijke monsters

<sup>2)</sup> Inclusief een (gering) aandeel NH<sub>4</sub> voor 102 van de 124 monsters.

<sup>3)</sup> Uitsluitend bepaald voor de locaties uit de 150 opstanden.

De strooisellaag onderscheidt zich van de bodemlagen door zijn lagere pH en zijn hogere CEC (tabel 42). De CEC van de organische stof is juist geringer, wat te verklaren is door het grote aandeel grove delen en ruwe humus. De H-bezetting is relatief hoog, terwijl de Al-bezetting juist laag is. De basenbezetting is gemiddeld, gezien vanuit de hele data set, maar veel hoger dan die in de bodemlagen, wanneer deze beperkt zouden worden tot de locaties waar een strooisellaag bemonsterd kon worden. Dit zijn min of meer normale patronen.

In de bovengrond, tussen de lagen 0-10 cm en 10-30 cm, treden slechts geringe verschuivingen op (tabel 42). De pH blijft gelijk, de CEC neemt licht af (de CEC van de organische stof neemt juist toe) en de bezetting van het adsorptiecomplex vertoont een iets toenemende basenbezetting. Aan het niveau van de waarden is te zien dat het hier overwegend wat rijkere systemen betreft. Tussen de bovengrond en de ondergrond (van andere locaties!) zijn er ook duidelijke verschillen. Aan het niveau is te zien dat dit overwegend armere systemen zijn. De pH neemt hier licht toe met de diepte en alle waarden voor de CEC nemen af. De basenbezetting blijft laag, maar daarnaast er wel een verschuiving van H-bezetting naar een nog hogere Al-bezetting.

Tabel 43 geeft de percentielwaarden voor de pH, de CEC en de bezetting daarvan voor de bovengrond (0-30 cm) van alle 61 locaties, bestaande uit de locaties waar deze laag als één geheel bemonsterd is en locaties waarvoor een gewogen gemiddelde berekend is van de monster van de lagen 0-10 cm en 10-30 cm. Dit overzicht combineert de zeer verschillende locaties die in tabel 42 genoemd werden.

**Tabel 42** Mediane waarden van de pH, de CEC en de bezetting daarvan voor de afzonderlijke bodemlagen

Laag	Aantal waarden	pH (-)		CEC (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Bezetting (%)		
		pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	gemeten	in O.S.	voorraad <sup>1)</sup>	H	Al	Basen
Strooisel	22	3,9	3,1	337	459		43	5,6	42
0 - 10 cm	35	5,4	4,5	87	699	78	19	8,4	65
10 - 30 cm	33	5,4	4,5	73	962	73	14	4,7	73
0 - 30 cm	28	4,1	3,5	51	812	65	23	57	7,6
30 - 60 cm	30	4,5	4,2	26	770	37	5,9	74	8,9
Verkl. Variantie (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> ) <sup>2)</sup>		40	54	86	52	31	32	28	79

<sup>1)</sup> CEC 'voorraad' uitgedrukt in kmol<sub>c</sub>.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>.

<sup>2)</sup> Gebaseerd op de verschillen binnen de locaties ten opzichte van de laag 0-30 cm (gemeten waarde ofwel gewogen gemiddelde waarde van 0-10 cm en 10-30 cm)

**Tabel 43** Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de pH, de CEC en de bezetting daarvan van de bovengrond (0-30 cm)

Percentiel-waarde	pH (-)		CEC (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Bezetting (%)		
	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	gemeten	in O.S.	voorraad <sup>1)</sup>	H	Al	Basen
Aantal waarden	61	61	61	57	61	61	61	61
Minimum	3,7	2,7	17	396	25	0,00	0,00	1,8
5-percentiel	3,8	2,9	25	226	35	3,5	0,00	2,8
50-percentiel	4,4	3,7	59	824	68	20	27	32
95-percentiel	6,1	5,3	576	1216	156	53	71	92
Maximum	6,4	5,7	818	1677	172	85	79	96

<sup>1)</sup> CEC 'voorraad' uitgedrukt in kmol<sub>c</sub>.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>.

### 3.4.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria

De pH-waarden vertonen een onregelmatige daling met een toenemende Gt (tabel 44). De hoogste waarden zijn echter aangetroffen bij Gt II. Dit hangt samen met het grote aantal locaties met kwel in deze klasse. De klasse Gt I bevat daarentegen vooral hoogveenlocaties. De hoogste waarden voor de CEC zijn aangetroffen bij de locaties met Gt I en Gt II, wat vermoedelijk samenhangt met het hoge aantal veengronden in deze klassen. De bezetting van het adsorptiecomplex vertoont over het algemeen een analoog patroon aan de pH: de basenbezetting neemt toe en de H- en Al-bezetting nemen af bij droger wordende Gt's. Ook hier zijn de hoogste basenbezetting en de geringste Al-bezetting zijn aangetroffen op de locaties met Gt II.

Tabel 44 Mediane waarden van de pH, de CEC en de bezetting daarvan als functie van de grondwatertrap

Grondwatertrap	Aantal waarden	pH (-)		CEC (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Bezetting (%)		
		pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	gemeten	in O.S.	voorraad <sup>1)</sup>	H	Al	Basen
Gt I	4	4,6	3,8	434	652	91	24	5,6	68
Gt II	12	5,7	5,0	410	1 072	121	13	0,04	84
Gt III-III*-IV	11	5,3	4,3	65	738	68	14	18	57
Gt V-V*	11	5,4	4,3	62	816	71	14	6,4	72
Gt VI-VII-VIII	23	4,1	3,5	49	816	61	24	63	6,7
<i>Verkl. Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		22	21	67	0	34	9	38	50
<i>idem, door LKN Gt-indeling</i>		24	21	62	0	36	8	39	53

<sup>1)</sup> CEC 'voorraad' uitgedrukt in kmol<sub>c</sub>.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>.

De laagste pH-waarden en de laagste basenbezetting zijn aangetroffen voor de locaties op zandgronden (tabel 45). De locaties op zand komen dan ook vooral voor in de ombrotrofe (zure) fysiotopen. De veengronden komen overwegend (maar lang niet allemaal) voor in de rijkere fysiotopen, terwijl de kleigronden (potklei e.d.) hun hogere pH en basenbezetting vooral danken aan mineralogische kenmerken.

De CEC reflecteert vooral de verschillen in organischestofgehalte en in mindere mate de het kleigehalte tussen de verschillende grondsoorten (tabel 45). De verschillen in CEC-voorraad zijn echter beduidend geringer als de verschillen in de CEC zelf, vooral als gevolg van de geringe bulkdichtheid van de veengronden. Het verschil in CEC<sub>O.S.</sub> tussen de veen- en zandgronden hangt vermoedelijk vooral samen met het verschil in pH tussen deze twee grondsoorten.

Tabel 45 Mediane waarden van de pH, de CEC en de bezetting daarvan als functie van de grondsoort

Grondsoort	Aantal waarden	pH (-)		CEC (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Bezetting (%)		
		pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	gemeten	in O.S.	voorraad <sup>1)</sup>	H	Al	Basen
Veen	15	5,6	5,0	411	1 068	118	12	0,00	87
Zand	42	4,3	3,5	51	814	64	22	47	8,4
Klei	4	5,6	4,7	83	-	97	10	2,8	81
<i>Verkl. Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		11	11	87	0	38	2	47	36
<i>idem, inclusief cultuurdek</i>		10	9	89	0	44	1	47	35

<sup>1)</sup> CEC 'voorraad' uitgedrukt in kmol<sub>c</sub>.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>.

De pH en de basenbezetting vertonen een duidelijke toename met de opeenvolgende klassen in basenrijkdom (tabel 46). De grootste verschuiving treedt op tussen de klasse 'Ombrotroof' en de beide ander klassen. De verschillen tussen de klasse 'Basenarm' en 'Basenrijk' is veel kleiner, met uitzondering van de verschuiving in de H-bezetting.

De CEC van de locaties op basenrijke fysiotopen is duidelijk hoger dan die van de twee andere klassen (tabel 46), wat samenhangt met het hoge aandeel veenlocaties in deze klasse. De CEC-voorraad neemt regelmatig toe van ombrotroof naar basenrijk.

De verschillen in de  $CEC_{O.S.}$  lijken ook hier vooral samen te hangen met de verschillen in de pH.

Tabel 46 Mediane waarden van de pH, de CEC en de bezetting daarvan als functie van de basenstatus van het grondwater

Basenstatus van het grondwater	Aantal waarden	pH (-)		CEC (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Bezetting (%)		
		pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	gemeten	in O.S.	voorraad <sup>1)</sup>	H	Al	Basen
Ombrotroef	40	4,2	3,5	51	796	64	26	47	9,1
Basenarm	11	5,7	4,9	78	1 062	91	14	0,91	80
Basenrijk	10	5,7	5,0	338	1 072	119	8,0	0,01	88
Verkl. Variantie (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )		37	43	26	9	43	23	44	46

<sup>1)</sup> CEC 'voorraad' uitgedrukt in kmol<sub>c</sub>.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>.

De Al-bezetting neemt af en de basenbezetting in de strooisellaag toe, gaande van donker naaldbos naar loofbos (tabel 47). De verschillen tussen loof- en naaldbos zijn groter dan de verschillen tussen de beide naaldbostypen. De verschillen in pH en complexbezetting in de bovengrond van de verschillende bostypen zijn vergelijkbaar met die in de strooisellaag.

De verschillen in pH en complexbezetting van de verschillende (groepen van) vegetatietypen hangen duidelijk samen met de verspreiding van deze typen. De pH-waarden voor de typen met bos of heide zijn duidelijk lager dan die voor de graslandtypen en voor maïsland. De locaties met bos of heide komen dan merendeels voor in ombrotrofe fysiotoepen, terwijl de locaties met grasland hun zwaartepunt hebben in de basenarme en basenrijke fysiotoepen. De hogere waarden voor maïsland hangen samen met de regelmatige bemesting en bekalking.

Over het algemeen is een duidelijk verband tussen een hoge pH en een hoge basenbezetting in de waarden voor de afzonderlijke vegetatietypen. (tabel 47). De hoge Al-bezetting onder maïsland verraadt nog dat dit type eigenlijk voorkomt op ombrotrofe fysiotoepen, ondanks de relatieve hoge pH. Binnen de graslanden hebben de intensief gebruikte graslanden een iets hogere H- en Al-bezetting en een iets lagere basenbezetting dan de extensief beheerde typen. De verschillen tussen de twee extensief beheerde typen zijn echter van dezelfde orde van grootte.

De verschillen in de CEC-waarden voor de onderscheiden vegetatietypen hangen vooral samen met de verschillen in verdeling over de verschillende grondsoorten en met het verband tussen de pH en de CEC. Voor de variatie in CEC-waarden van de strooisellaag geldt alleen het verband tussen pH en CEC.

Tabel 47 Mediane waarden van de pH, de CEC en de bezetting daarvan als functie van het vegetatietype

Vegetatietype	Aantal waarden	pH (-)		CEC (mmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Bezetting (%)		
		pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	gemeten	in O.S.	voorraad <sup>1)</sup>	H	Al	Basen
<b><u>Strooisellaag:</u></b>									
Donker naaldbos	7	3,8	3,1	329	420	-	44	6,7	39
Licht naaldbos	9	3,8	3,0	385	462	-	44	5,1	43
Loofbos	4	4,1	3,2	335	488	-	36	4,3	53
Heide	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Jeneverbes-heide	2 <sup>2)</sup>	4,0	3,2	-	-	-	-	-	-
<b><u>Bovengrond:</u></b>									
Donker naaldbos	8	4,0	3,5	46	804	56	28	63	4,3
Licht naaldbos	10	4,1	3,5	49	832	63	27	66	7,4
Loofbos	8	4,2	3,7	75	748	74	9,9	41	13
Heide	10	4,1	3,1	191	528	64	41	15	18
Jeneverbesheide	2	4,3	3,2	38	720	48	38	43	7,4
Ext. grasland 'C'	12	5,6	4,7	90	1 068	95	13	1,8	81
Ext. grasland 'G'	6	5,9	5,1	276	955	104	9,5	0,36	77
Int. grasland	5	5,7	4,8	67	826	84	12	5,8	74
Maïsland	2	5,9	5,1	39	1 069	54	5,9	13	77
<i>Verkl. Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		78	71	18	36	27	45	25	66
<i>idem, door veg.strukturtype</i>		74	69	13	37	24	35	25	59
<i>plus 'natuur' vs 'cultuur'</i>		74	69	15	36	25	38	24	60

<sup>1)</sup> CEC 'voorraad' uitgedrukt in kmol<sub>c</sub>.ha<sup>-1</sup>.dm<sup>-1</sup>.

<sup>2)</sup> CEC en uitwisselbare kationen zijn niet bepaald in de strooisellaag van de jeneverbeslocaties (aantal = 0).

### 3.4.3 Relaties met het fysiotoopmodel

De pH-waarden in de bovengrond (0-30 cm) vertonen een redelijke correlatie met het fysiotoopmodel (tabel 48). De toevoeging van het vegetatietype zorgt echter voor een aanzienlijke verbetering. Deze is dan ook terug te vinden in het beste beschrijvende model, samen met de basenstatus van het grondwater. Verder hangt het verloop met de diepte ook nog samen met de grondsoort, de Gt en het vegetatietype (tabel 49).

De variatie in de (gemeten) CEC wordt voor een groot deel verklaard door het fysiotoopmodel (tabel 48). Nader bezien hangt deze sterke correlatie vrijwel volledig af van de correlatie met de grondsoort (tabel 64). De correlatie met de grondsoort is veel minder sterk voor de meer afgeleide variabelen CEC<sub>OS</sub> en CEC-voorraad.

**Tabel 48 Resultaten van de regressie-analyse voor de hoofdeffecten voor de pH, de CEC en de bezetting daarvan**

Geanalyseerde grootheid	Volledig fysiotoop <sup>1)</sup>		id. + vegetatietype		Beste statistische model		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>
pH(H <sub>2</sub> O)	36	***	83	*** vvv	Basen + Veg	84	***
pH(KCl)	41	***	80	*** vvv	Basen + Veg	81	***
CEC (gemeten)	90	***	91	*** -	Grond + Gt + Dek	90	***
CEC (in Org. Stof)	20	**	44	*** vv	Gt + Veg + Grond + Dek	45	***
CEC-voorraad	52	***	59	*** -	Basen + Grond + Dek	55	***
H-bezetting	29	**	50	*** vv	Basen + Veg + Gt	50	***
Al-bezetting	59	***	70	*** vv	Grond + Basen + Veg	70	***
Basenbezetting	59	***	87	*** vvv	Gt + Veg + Grond	85	***

<sup>1)</sup> bestaande uit onafhankelijke combinatie van Basen+Gt+Grond+Dek

<sup>2)</sup> significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001 (v: idem voor bijdrage vegetatietype)

De variatie in de Al- en basenbezetting wordt redelijk beschreven door het volledig fysiotoopmodel, de H-bezetting echter maar matig (tabel 48). Toevoeging van het vegetatietype levert een aanzienlijke verbetering op voor de H- en basenbezetting. De basenrijkdom van het grondwater is geselecteerd voor de Al- en H-bezetting, echter niet voor de basenverzadiging. De belangrijkste predictor voor de basenverzadiging is de Gt, ook voor het verloop met de diepte van de basenbezetting (tabel 49). Vermoedelijk is niet (alleen) de kwaliteit van het grondwater van belang, maar (vooral ook) de afstand tot het grondwater of de duur van de periode waarin de bodem in direct contact met het grondwater is. Nadere analyse laat zien (tabel 46 en 50) laat zien dat de basenrijkdom van het grondwater wel degelijk aanvullende informatie levert. Verder geven ook de grondsoort (verwerking/mineralisatie) en het vegetatietype additionele verklaring.

**Tabel 49 Resultaten van de regressie-analyse voor het laageffect en de laaginteracties voor de pH, de CEC en de bezetting daarvan**

Geanalyseerde grootheid	Laageffect		Laageffect + laaginteracties (beste model)		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>1)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>1)</sup>
pH(H <sub>2</sub> O)	35	***	Laag + Laag.Grond	46	***
pH(KCl)	53	***	Laag + Laag.(Veg + Gt)	73	***
CEC (gemeten)	86	***	Laag + Laag.(Grond + Dek)	89	***
CEC (in Org. Stof)	54	***	Laag + Laag.Gt	58	***
CEC-voorraad	31	***	Laag + Laag.(Grond + Dek)	47	***
H-bezetting	33	***	Laag + Laag.Veg	62	***
Al-bezetting	28	***	Laag + Laag.Grond	49	***
Basenbezetting	79	***	Laag + Laag.Gt	81	***

<sup>1)</sup> significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001.

De invulling van het fysiotopmodel op basis van de statistische analyse bevestigt dat de Gt de belangrijkste predictor is. De basenstatus van het grondwater is echter belangrijker dan de grondsoort, in tegenstelling tot het resultaat van de modelselectie (tabel 50 vs. tabel 48). De basenverzadiging neemt sterk af met een oplopende Gt, maar neemt ook duidelijk toe met toenemende basenrijkdom van het grondwater. De geschatte waarden voor de veengronden zijn slechts iets lager dan die voor de zandgronden (ombrotroof en basenarm) en de kleigronden (basenrijk). Voor de zandgronden met een cultuurdek wordt een iets hogere basenverzadiging geschat. Het patroon binnen de strooisellagen is vergelijkbaar met dat binnen de bodemlagen, zij het op een hoger niveau. Voor de meeste fysiotoptypen neemt de basenbezetting af met de diepte. Alleen voor de fysiotopen in de natte, basenrijke hoek (rechtsboven) wordt geen afname of zelfs een geringe toename met de diepte geschat.

Tabel 50 Schatting van de basenverzadiging (%) onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van fysiotop en laag op basis van de uitkomsten van het regressiemodel <sup>1)</sup>

Grondwater- trap	Laag	Basenstatus grondwater / Grondsoort						
		Ombrotroof			Basenarm		Basenrijk	
		Veen	Zand	-/+ cultuurdek	Veen	Zand	Veen	Klei
<u>Strooisellaag:</u>								
I		87	98		99	99	Onder basenrijke omstandigheden is doorgaans geen strooisellaag aanwezig.	
II-II*		41	93		98	97		
III-III*-IV		90	89		96	96		
V-V*		85	83	89	94	93		
VI-VII-VIII		62	59	71	82	79		
<u>Minerale bodemlagen:</u>								
I	0-10 cm	67	71		80	83	96	97
	10-30 cm	76	68		92	88	98	97
	30-60 cm	57	77		72	86	94	98
II-II*	0-10 cm	41	46		58	63	90	92
	10-30 cm	45	35		74	66	91	90
	30-60 cm	24	43		38	60	80	93
III-III*-IV	0-10 cm	31	35		47	52	85	87
	10-30 cm	31	23		62	52	85	84
	30-60 cm	14	29		24	44	68	87
V-V*	0-10 cm	22	26	36	36	41	79	81
	10-30 cm	20	15	22	47	38	76	74
	30-60 cm	8,2	18	29	15	30	53	79
VI-VII-VIII	0-10 cm	8,9	11	17	16	19	56	60
	10-30 cm	6,1	4,2	6,8	19	14	45	43
	30-60 cm	2,0	4,7	8,6	3,9	8,8	21	46

<sup>1)</sup> Cursieve waarden: 'onwaarschijnlijke' of 'instabiele' fysiotopen: minerale bodems met Gt I en organische gronden met Gt ≥ V



### 3.5 Conclusies

De conclusies met betrekking tot de resultaten van de vaste fase kunnen ingedeeld worden in drie groepen, te weten (i) over de variatie in de afzonderlijke variabelen, met name gericht op welke factoren deze variatie het beste verklaren, (ii) over de mate waarin het fysiotoopmodel en de afzonderlijke factoren daarvan voldoen voor de beschrijving van de variatie in de vaste fasesamenstelling in zijn algemeenheid en (iii) over de beperkingen van de proefopzet voor de interpretatie van de verkregen gegevens.

De volgende conclusies kunnen getrokken worden met betrekking tot de variatie in de afzonderlijke variabelen en de factoren die deze variatie verklaren:

1. De dikte van de strooisellaag en daarmee de voorraad in de strooisellaag wordt in belangrijke mate bepaald door de abiotische milieufactoren; de basenrijkdom van (met name) het grondwater is hierbij de belangrijkste predictorvariabele: hoe armer hoe dikker.
2. Het organischestofgehalte en daarmee de bulkdichtheid en het N-gehalte hangen zeer sterk samen met de grondsoort (organisch vs. mineraal), de organischestof- en N-voorraad (in de bovengrond) hangt daarentegen vooral samen met de Gt (hoe natter hoe meer), de laatste gecombineerd met de basenrijkdom van het grondwater (hoe rijker hoe meer N).
3. Het N-gehalte als fractie van de organische stof en de C/N-ratio hangen in de eerste plaats samen met de basenrijkdom van het grondwater (hoe rijker hoe meer N).
4. Het P-gehalte hangt samen met de meest factoren, waarvan de grondsoort de belangrijkste lijkt; de voorraden, het  $P_{O,S}$ -gehalte en de C/P-ratio hangen echter vooral samen met de basenrijkdom van het grondwater.
5. Het  $Al_{ox}$ -gehalte vertoont geen duidelijke relatie met de verschillende criteria; de voorraad ervan hangt echter vooral samen met de grondsoort.
6. De gehalten en voorraden van  $Fe_{ox}$  en  $P_{ox}$  hangen samen met de combinatie van basenrijkdom van het grondwater en de grondsoort, de laatste gecombineerd met het vegetatietype.
7. De pH-waarden hangen sterk samen met de basenrijkdom van het grondwater (hoe rijker, hoe hoger de pH-waarden) en het vegetatietype.
8. De CEC hangt sterk af van de grondsoort (veen vs. zand. vs. klei); voor de 'CEC-voorraad' en de CEC van de organische stof (excl. de kleigronden) hangen echter vooral samen met de basenrijkdom van het grondwater.
9. De bezetting van het complex hangt samen met de verschillende combinaties van verklarende factoren, voor de H- en basenbezetting gecombineerd met het vegetatietype.

Met betrekking tot de relevantie van het fysiotoopmodel en de afzonderlijke factoren daarin, kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. Het volledige fysiotoopmodel geeft voor de meeste variabelen, met meestal een verklaarde variantie van tussen 30% en 80% (sommige meer of minder).
2. In de meeste gevallen zijn slechts maximaal twee abiotische factoren nodig om de gevonden spreiding afdoende te verklaren.

3. In de meeste gevallen lijken verstrengelingen op te treden tussen de verschillende factoren, omdat binnen de klassen van de ene factor de verdeling van de andere factor niet gelijkmatig is.
4. De gehaltevariabelen hangen in belangrijke mate samen met de grote verschillen in bulkdichtheid tussen de minerale en de organische bodems; het gebruik van voorraadvariabelen en/of ratio's is in dit soort gevallen een goed alternatief; een vastgestelde relatie voor voorraden kan weer vertaald worden naar een relatie voor gehalten door de relatie voor de bulkdichtheid.
5. Het vegetatietype afzonderlijk geeft vaak een goede verklaarde variantie; de toegevoegde waarde bovenop het fysiotoop is echter vaak gering; dit duidt erop dat voor de meeste variabelen de verdeling van de vegetatietypen samenhangt met de verdeling in abiotische factoren en dat het vegetatietype slechts voor enkele variabelen een belangrijke additionele invloed heeft (bijvoorbeeld op de pH-waarden).

Met betrekking tot de proefopzet, kan geconcludeerd worden dat de verschillen in de gekozen laagindeling sterk nadelig hebben gewerkt op de mogelijkheden tot interpretatie van de resultaten. Dit hangt met name samen omdat de twee verschillende indelingen niet allen samenhangen met het vegetatietype (was zo bedoeld) maar in belangrijke mate ook samenhangen met andere indelingscriteria. Belangrijke nadelen hiervan waren:

1. Er waren slechts voor één laag (0-30 cm) waarden beschikbaar voor de vergelijking van alle locaties, en van die waarden bestond een deel nog uit herberekende waarden op basis van twee sub-lagen.
2. Een analyse van de werkelijke bovengrond (0-10 cm) was niet zinvol, omdat deze slechts uitgevoerd zou kunnen worden voor een gering aantal locaties, die maar een beperkt spectrum van het aantal mogelijke fysiotooptypen vertegenwoordigden (en alleen onder lage vegetatietypen).
3. Hetzelfde geldt voor een analyse van de gegevens voor de diepere lagen (30-60 cm) waarvoor juist alleen weer waarden voor opgaande vegetatietype beschikbaar waren;
4. Een analyse waarin de lagen 0-10 cm en 0-30 cm gecombineerd worden tot 'ondiepe bovengrond' en die voor 10-30 cm en 30-60 cm tot 'diepere bovengrond' werd niet verantwoord geacht.
5. De analyse van mogelijke effect van het vegetatietype werd beperkt omdat juist het vegetatie(structuur)type maatgevend was welke laagindeling gehanteerd werd.

## 4 Chemische samenstelling van het freatische grondwater

### 4.1 Algemene karakterisering

#### *pH en ionconcentraties*

De gegevens over de chemische samenstelling van het freatische grondwater zijn geanalyseerd voor 49 locaties: 39 van de 50 nieuwe locaties, acht van de elf locaties uit de '150 bosopstanden' en beide locaties uit de 'Twaalf Drentse bosopstanden'. Op de overige locaties is geen grondwater aangetroffen binnen 200 cm - mv., waardoor het met de beschikbare apparatuur niet bemonsterd kon worden.

Zoals aangegeven in paragraaf 2.3 zijn voor de bezochte locaties de pH en het EGV (Electrisch GeleidingsVermogen) zowel in het veld als in het laboratorium bepaald. Voor het EGV betreft dit slechts een controlemeting, omdat deze niet of nauwelijks verandert (behoudens het optreden van precipitatiereacties). Behoudens enkele uitschieters, komen de beide EC-waarden dan ook goed overeen. De pH is in de meeste monsters echter sterk opgelopen in de periode tussen de veldwaarneming en de laboratoriumwaarneming (1 à 2 dagen). Deze toename, die varieert van 0,0 tot 1,4 pH-eenheid met uitschieters tot 2,2 (fig. 8), kan toegeschreven worden aan de ontwijking van  $\text{CO}_2$  uit het watermonster, dat daarmee oververzadigd is ten opzichte van de buitenlucht. Hierbij dalen de  $\text{HCO}_3^-$ - en  $\text{H}^+$ -concentraties en stijgt de pH. De oxidatie van  $\text{Fe}^{2+}$  (tot  $\text{Fe}^{3+}$ ) en  $\text{S}^{2-}$  (tot  $\text{SO}_4^{2-}$ ) kan het oplopen van de pH nog enigszins getemperd hebben. Het effect van deze omzettingen op het EGV is verder verwaarloosd.

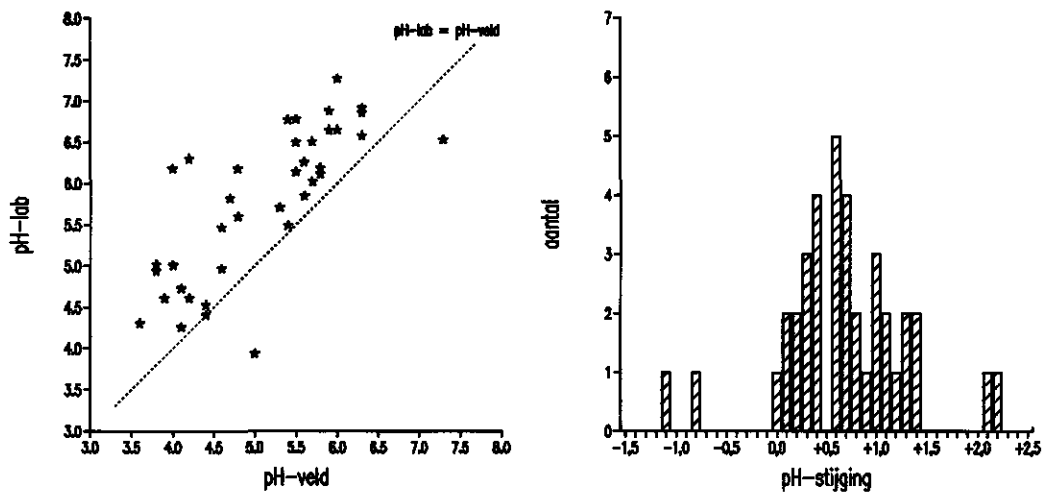


Fig. 8 *Vergelijking van de in het veld en in het laboratorium bepaalde pH-waarden links: de veldmeting uitgezet tegen de laboratoriummeting; rechts: histogram van de verschuivingen in klassen van 0,1 pH-eenheid*

Van de twee punten waarvoor de pH in het veld juist hoger was, en de twee waarvoor de verschuiving veel groter was als voor de andere monsters, is aangenomen dat de veld-pH-meter de betreffende dagen niet deugdelijk werkte. Voor deze vier punten en voor het ene punt waarvoor in het veld de pH niet bepaald is, is een vervangende

waarde berekend. Deze is berekend door het gemiddelde verschil tussen veld- en laboratoriummeting voor de overige punten af te trekken van de voor deze drie punten in het laboratorium bepaalde pH. De in het laboratorium bepaalde pH varieert dan ook van 3,9 tot 7,3 met een mediaan van 6,1, terwijl de in het veld bepaalde pH varieert van 3,3 tot 6,3 met een mediaan van 5,4 (fig. 8, links). Doordat de toegevoegde 'oude' locaties geconcentreerd in voedselarme, zure fysiotopen, ligt de mediane pH van alle locaties samen nog iets lager (tabel 51).

Het EGV en de ionconcentraties vertonen een behoorlijke spreiding (tabel 51). Voor de meeste ionen is de verdeling nogal scheef. De mediaan ligt meestal veel dicht bij de onderzijde van de verdeling dan bij de bovenzijde ervan. Dit ondersteunt de keuze om bij de statistische verwerking een log-normale verdeling te veronderstellen.

Verschillende elementen vertonen hoge piekwaarden. Vooral de piekwaarden voor Fe en NO<sub>3</sub> zijn bijzonder hoog. De hoge Fe concentraties op sommige locaties hangen samen met de lange historie met kwelomstandigheden, waarbij Fe geaccumuleerd is. De hoge NO<sub>3</sub>-concentraties hangen samen met de bemesting van sommige locaties. De extreem hoge concentratie van 10 mol<sub>c</sub>.m<sup>-3</sup> is dan ook gevonden onder een maïsakker. Naast NO<sub>3</sub> is op de meeste locaties ook NH<sub>4</sub> in het grondwater aangetroffen. Samen duidt dat erop, dat op sommige locaties aanzienlijke N-uitspoeling plaatsvindt. Hoge concentraties van de overige ionen kunnen samenhangen met de aanvoer door kwel van water dat rijk is aan deze ionen (bijvoorbeeld Ca) of doordat het grondwater gevoed wordt door inzijing nadat sterke indikking opgetreden is door verdamping door de vegetatie, eventueel door versterkt door atmosferische depositie of (over)bemesting (bijvoorbeeld SO<sub>4</sub>).

Tabel 51 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de pH, het EGV en de ionconcentraties in het grondwater

Percentiel-waarde	pH (-)	EGV (mS.m <sup>-1</sup> )	Concentraties (mol <sub>c</sub> .m <sup>-3</sup> )														
			Si	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	<.HCO <sub>3</sub> <sup>1)</sup> .>	
Minimum	3,3	5,7	0,12	0,02	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,13	0,00	0,00	0,00
5-percentiel	3,8	8,0	0,17	0,05	0,02	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,19	0,00	0,00	0,00
50-percentiel	4,8	25	0,94	0,69	0,25	0,02	0,19	0,03	0,04	0,00	0,01	0,01	0,56	0,52	0,00	0,06	0,01
95-percentiel	6,3	54	2,3	4,3	0,95	0,14	0,90	1,6	1,1	0,03	0,13	1,5	2,2	2,7	0,02	4,0	4,1
Maximum	6,3	96	2,7	6,4	2,0	0,45	1,1	2,0	3,0	0,05	0,47	10	4,9	3,4	0,03	6,0	7,5

<sup>1)</sup> HCO<sub>3</sub>-concentratie berekend (i) uit de ionenbalans (per monster) en (ii) door MAION.

De HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentratie is op twee manieren berekend: (i) uit de ionenbalans, waarbij de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentratie gelijk gesteld is aan het 'tekort' aan negatieve ladingen, en (ii) uit de output van MAION, dat een schatting geeft van de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentratie op basis van de ionenbalans en de pH in het geval geen waarde gegeven wordt. Voor de meeste monsters liggen beide waarden dicht bij elkaar, maar voor enkele monsters zijn er grote verschillen (tabel 51 en Fig. 9) laat echter zien dat er voor enkele monsters duidelijke verschillen zijn. Voor de twee punten op de Y-as (Plots 1 en 34) houdt MAION vermoedelijk niet of onvoldoende rekening met de (zeer) hoge NO<sub>3</sub>-concentratie op deze locaties. Voor de twee punten rechts van de x=y-lijn (Plots 5 en 47) is sprake van een hoge Ca-concentratie, een lage pH en groot anionentekort,

waarbij vermoedelijk andere (organische) anionen een belangrijke rol spelen, die in de ionenbalans toegekend zijn aan  $\text{HCO}_3^-$ .

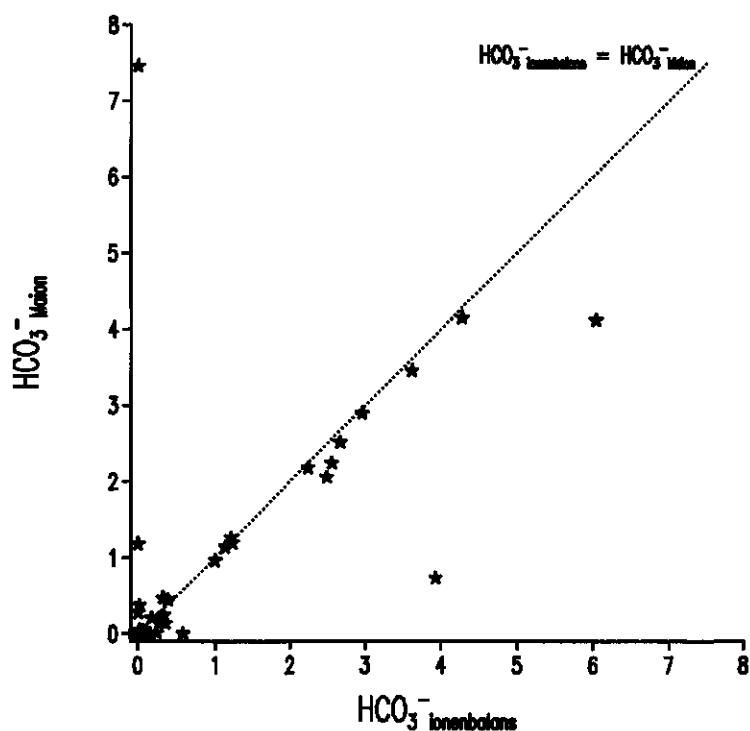


Fig. 9 Vergelijking van de  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie berekend uit de ionenbalans en de  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie berekend door MAION (beide in  $\text{mol}_e \cdot \text{m}^{-3}$ )

#### **Ratio's tussen verschillende ionen**

De ratio's van de ionconcentraties in het grondwater vormen een indicatie van het nettoeffect van atmosferische depositie en (over)bemesting nadat het water de wortelzone gepasseerd is. Dit geldt met name voor de fysiotopten waar de inzijging overheerst, maar ook in de fysiotopten met een netto-kwel kunnen de ratio's een indicatie geven van de N-overmaat. De geïnventariseerde ratio's hebben allemaal een scheve verdeling (voor de meest bij benadering log-normaal verdeeld), met de mediaan relatief dicht bij de onderzijde van de verdeling (tabel 52). De verdeling van de  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ -ratio laat zien dat  $\text{NH}_4$  iets vaker domineert dan  $\text{NO}_3$ . De  $\text{NH}_4/\text{K}$  en  $\text{NH}_4/\text{Mg}$  blijven echter ruim beneden de grenswaarden, met uitzondering van één locatie waar de kritiek  $\text{NH}_4/\text{K}$ -ratio ruim overschreden wordt.

De ratio's  $(\text{NO}_3 + \text{NH}_4)/\text{SO}_4$  en  $(\text{NO}_3 - \text{NH}_4)/\text{SO}_4$  laten zien dat S meestal de belangrijkste verzurende component is. De hoogste waarde hangt samen met het zeer N-rijke grondwater onder de bezochte maïsakker. De ratio's  $\text{Al}/\text{Ca}$  en  $\text{Al}/\text{Bas}$  laten zien dat Al-uitspoeling slechts een geringe rol speelt. Op de locatie waar Al uitspoelt bij een geringe Ca-concentratie ( $\text{Al}/\text{Ca}$ -ratio = 1) is juist de concentratie van één van de andere basische kationen ruim voldoende. Ook aan de ratio  $(\text{H} + \text{Al})/(\text{NO}_3 + \text{SO}_4 - \text{NH}_4)$  is te zien dat de uitspoeling van de sporen van zure depositie en (over)bemesting maar in een gering aantal locaties gepaard gaat met de uitspoeling

van zure kationen. Door de overmaat aan uitgespoelde anionen afkomstig van atmosferische depositie en (over)bemesting, gecombineerd met de van nature al lage pH van het grondwater op veel locaties, domineren deze ionen echter meestal duidelijk over de  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie.

De spreiding van de waarden voor de ionen-ratio (IR) dekt bijna de gehele breedte die hij potentieel aan kan nemen (nl. 0-100%). Verder is deze variabele redelijk normaal verdeeld.

Tabel 52 Minimum, maximum, 5-, 50- and 95-percentielwaarden van een brede selectie van ion-ratio's in het grondwater

Percentiel-waarde	Ratio ( $\text{mol}_e \cdot \text{mol}_e^{-1}$ )									
	$\frac{\text{NH}_4}{\text{NO}_3}$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{K}}$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{Mg}}$	$\frac{\text{NO}_3 + \text{NH}_4 \text{NO}_3 - \text{NH}_4}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{NO}_3 + \text{NH}_4 \text{NO}_3 - \text{NH}_4}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{Al}}{\text{Ca}}$ <sup>1)</sup>	$\frac{\text{Al}}{\text{Bas}}$ <sup>1)</sup>	$\frac{\text{H} + \text{Al}}{\text{NO}_3 + \text{SO}_4 - \text{NH}_4}$	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{NO}_3 + \text{SO}_4}$	IR <sup>2)</sup>
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	5
5-percentiel	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	10
50-percentiel	1,1	0,48	0,05	0,11	0,00	0,03	0,02	0,08	0,08	47
95-percentiel	12	3,2	0,55	1,8	1,7	5,0	0,46	0,97	17	92
Maximum	78	13	1,5	10	10	11	0,64	1,4	30	94

<sup>1)</sup> Al/Ca en Al/Bas-ratio's in  $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$

<sup>2)</sup> Bas (basische kationen) = Ca+Mg+K+Na

<sup>3)</sup> IR (ionenratio) =  $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Cl})$ , uitgedrukt als percentage

### Similariteit met de referentietypen

De similariteit met de referentietypen (berekend met MAION; Van Wirdum, 1991) is op twee manieren berekend, namelijk met en zonder de  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie die uit de ionenbalans berekend was (zie ook voorgaande tekst en Fig. 9). In het tweede geval geeft MAION een schatting voor de  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie. De verschillende  $\text{HCO}_3^-$ -concentraties hebben geen invloed op de mengverhouding tussen de referentietypen, omdat deze uitsluiten op de Ca- en Cl-concentratie gebaseerd is. De percentielwaarden van de similariteiten (tabel 53) zijn tot stand gekomen op basis van de berekende similariteiten per monster, en corresponderen daarom niet rechtstreeks de percentielwaarden voor de concentraties (tabel 51).

De similariteiten met de referentiegrondwatertypen vertonen een ruime spreiding. Deze is ook terug te vinden in de mengaandelen voor lithotroof en atmotroof water (tabel 53). De verschillen tussen de beide benaderingen zijn gering. De waarden voor de similariteit van lithotroof en atmotroof water lopen van sterk negatief tot bijna 100. De medianen voor de similariteiten zijn aan de lage kant. Uitgedrukt in mengverhoudingen, blijkt dat het merendeel van de monsters grotendeels uit atmotroof water bestaat. Dit zou gedeeltelijk samen kunnen hangen met de periode van overvloedige regenval, welke voorafging aan de bemonstering.

Het probleem bij de berekening van de similariteiten en mengverhoudingen was, dat op veel locaties het grondwater aanzienlijke hoeveelheden  $\text{NH}_4$  en/of  $\text{NO}_3$  bevatte (als gevolg van bemesting of atmosferische depositie), die niet in de berekeningen meegenomen worden. De hoge concentraties van deze ionen komen alleen tot uitdrukking in de hoge gemeten waarden voor de EC, dat wel in de berekeningen

betrokken is. Het meest extreem was dit probleem het geval voor de ene locatie onder maïs, waar een extreem hoge  $\text{NO}_3$ -concentratie is gevonden (evenals een hoge Cl-concentratie). Deze locatie is dan ook verantwoordelijk voor de maxima voor de similariteit met zeewater ('Thal.') en Rijnwater ('Rhlob').

De mengverhoudingen zijn berekend zonder een mogelijk aandeel van verontreinigd water. Verder is de berekening van de mengverhoudingen door MAION gebaseerd op de afzonderlijke concentraties Cl en Ca. Deze combinatie zorgt ervoor dat voor het monster van de maïslocatie een mengverhouding van '111% lithotroof water, -11% atmotroof water (het maximum en minimum voor resp. lithotroof en atmotroof water) berekend is. Dit duidt erop dat met de bemesting ook een grote hoeveelheid Ca is toegediend, mogelijk door middel van bekalking.

*Tabel 53 Minimum, maximum, 5-, 50- and 95-percentielwaarden van de similariteit met en de mengverhouding van de referentiegrondwatertypen*

Percentiel-waarde	Similariteit (%) 'HCO <sub>3</sub> bekend'				Similariteit (%) 'HCO <sub>3</sub> onbek.' <sup>2)</sup>				Fict. mengverh. (%) <sup>3)</sup>		
	Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.	Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.	Lith.	Atm.	Thal.
Minimum	-54	-54	-44	-15	-56	-53	-29	-8	-0,2	-11,4	0,0
5-percentiel	-41	-50	-27	-2	-53	-51	-22	2	0,4	25,8	0,0
50-percentiel	22	35	9	29	23	37	9	31	8,6	91,1	0,1
95-percentiel	97	90	68	74	97	90	64	66	74,2	99,6	0,5
Maximum	98	95	79	76	98	95	68	75	111,3	100,2	0,6

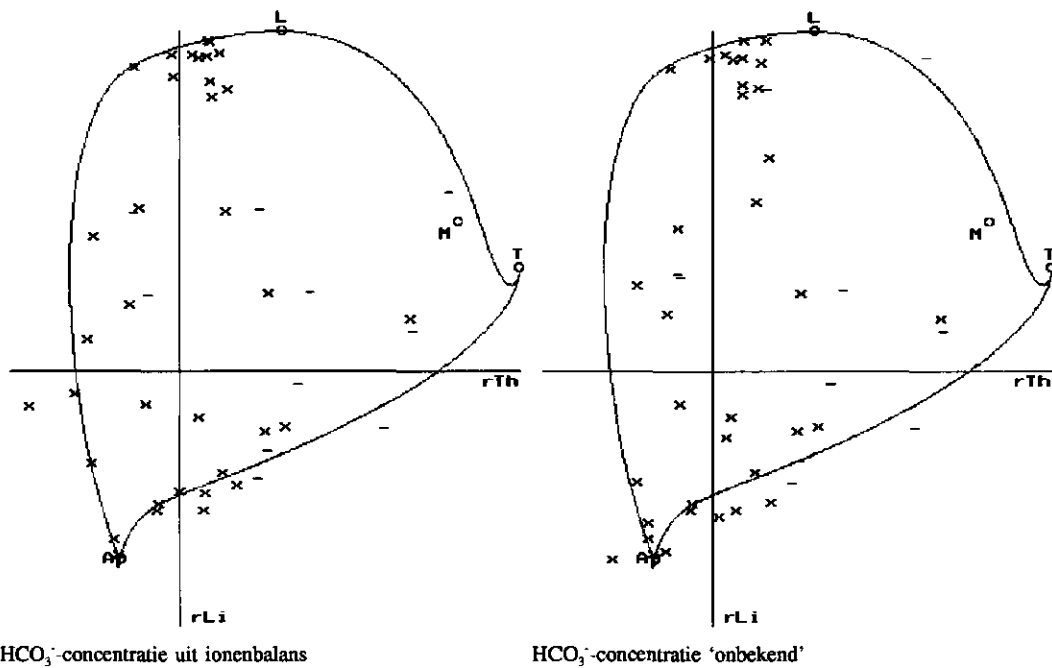
<sup>1)</sup> HCO<sub>3</sub> bekend = op basis berekende HCO<sub>3</sub>-concentratie uit ionenbalans per locatie.

<sup>2)</sup> HCO<sub>3</sub> onbekend = op basis van schattingen met MAION met een onbekend veronderstelde HCO<sub>3</sub>-concentratie.

<sup>3)</sup> Verschillende wijzen van berekening voor HCO<sub>3</sub> niet van invloed op mengverhouding.

Figuur 10 geeft de verdeling weer van de afzonderlijke grondwatermonsters in rLi-rTh-diagrammen. In de linker figuur zijn de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentraties uit de ionenbalans gebruikt, terwijl de rechter figuur gebaseerd is op de schattingen door MAION. Verder verschillende symbolen gebruikt voor de locaties met een meer natuurlijk vegetatietype en die met een zwaar bemest 'vegetatietype'. Dit verschil is van belang omdat (i) vooral de laatste vegetatietypen hoge NH<sub>4</sub><sup>-</sup> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentraties verwacht kunnen worden (en ook aangetroffen zijn; paragraaf 4.2.4) en (ii) voor de invulling van de fysiotooptypen uitsluitend gebruik is gemaakt van de gegevens van de weinig belaste vegetatietypen.

Volgens beide benaderingen dekken de punten vrijwel het gehele spectrum van mogelijke rLi-rTh-combinaties (fig. 10). In beide gevallen is sprake van een concentratie van punten rechts van het atmotrofe referentietype (dus iets meer Thalassotroof) en links van het Lithotrofe referentietype. Voor de meeste punten is het verschil tussen de beide methoden gering. Voor enkele punten zijn er echter grote verschillen. Dit zijn dezelfde punten als waarvoor bij de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentraties grote verschillen geconstateerd zijn (fig. 9). De verschuivingen zijn voor de bemeste locaties over het algemeen groter dan voor de niet of weinig bemeste locaties. Linksboven in de figuur verschuift bijvoorbeeld de zwaar bemeste locatie met maïs van bij het referentietype Rijnwater (M) omhoog tot bijna bij het referentietype Lithotroof.



**Legenda:**

Natuurlijkheidsgraad: x = (half)natuurlijke vegetatietypen; - = zwaar bemeste vegetatietypen

Referentietypen: L=Lithotroof, A=Atmotroof, T=Thalassotroof, M=Rijnwater

*Fig. 10 Plaatsing van de afzonderlijke grondwatermonsters in rLi-rTh-diagrammen*

## 4.2 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria

### 4.2.1 Grondwatertrappen

Bij de analyse van de resultaten per grondwatertrap dient bedacht te worden dat tien van de elf resultaten voor de klasse Gt VI-VIII afkomstig zijn van de toegevoegde, eerder bemonsterde locaties. De overige klassen bestaan volledig uit nieuw bemonsterde locaties.

De hoogste pH-waarden en de hoogste Ca-concentraties zijn gevonden voor de locaties met Gt II, gevolgd door de groep met Gt I (tabel 54). De groep met Gt II heeft, samen met de groep Gt V, ook de laagste Al-concentraties en de laagste Al/Ca-ratio's. Afgezien van deze pieken, vertonen de Ca-concentraties, evenals de NH<sub>4</sub>-concentraties en de NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en NH<sub>3</sub>/K-ratio's een afname met een oplopende Gt. De K- en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentraties nemen daarentegen toe met een oplopende Gt. De laagste pH en de hoogste Al/Ca-ratio worden ten slotte gevonden bij Gt VI-VIII. Deze patronen duiden er in het algemeen op dat bij droogste Gt's het duidelijkst de sporen van bodemverzuring zijn terug te vinden. Bij de ondiepere Gt's treedt in toenemende mate remming op van de nitrificatie, mogelijk gecombineerd met toenemende denitrificatie.



De EGV, de ionen-ratio (IR) en de similariteit met lithotroof water zijn het hoogst voor Gt II, terwijl de similariteit met atmotroof water juist het laagst is voor deze klasse (tabel 55). De geringste similariteit met lithotroof water en de hoogste met atmotroof water is gevonden voor GT VI-VIII, gevolgd door Gt I. De klassen Gt III/IV en Gt V hebben een intermediaire positie. Bij deze verdelingen moet bedacht worden, dat de verdeling van de grondwatertrappen over andere indelingscriteria niet gelijkmatig is, waardoor een vertekening op kan treden. De similariteiten met zeewater en met Rijnwater vertonen geen duidelijke relatie met de Gt, hooguit een vage toename met toenemende Gt.

Tabel 54 Mediane waarden van de pH en de belangrijkste ionconcentraties en -ratio's in het grondwater als functie van de grondwatertrap

Grondwatertrap	Aantal waarden	pH (-)	Concentraties (mmol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup> )						Ratio's (mol.mol <sup>-1</sup> )		
			Ca	K	Al	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	$\frac{NH_4}{NO_3}$	$\frac{NH_4}{K}$	$\frac{Al}{Ca}$
Gt I	4	5,5	1,5	0,01	0,02	0,03	0,01	0,62	7,5	2,0	0,28
Gt II-II*	12	5,8	2,5	0,02	0,02	0,04	0,01	0,44	5,5	2,0	0,00
Gt III-III*-IV	11	4,6	0,69	0,01	0,08	0,01	0,01	0,55	1,3	0,43	0,10
Gt V-V*	11	5,4	0,81	0,02	0,01	0,01	0,07	0,91	0,06	0,50	0,00
Gt VI-VII-VIII	11	4,4	0,17	0,03	0,57	0,00	0,21	0,85	0,00	0,00	3,2
Verklaarde Variantie (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	9		17	8	16	45	34	5	65	62	18
idem, door LKN Gt-indeling	12		18	6	13	46	26	4	60	63	26

Tabel 55 Mediane waarden van EGV, IR en similariteiten van het grondwater als functie van de grondwatertrap

Grondwatertrap	Aantal waarden	EGV (mS.m <sup>-1</sup> )	IR (%)	Similariteit (%)			
				Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.
Gt I	4	22	38	-2	49	-1	22
Gt II-II*	12	34	77	91	-40	8	29
Gt III-III*-IV	11	15	47	15	39	-6	29
Gt V-V*	11	30	70	46	25	14	38
Gt VI-VII-VIII	11	22	19	-3	70	8	29
Verklaarde Variantie (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )		0	17	10	10	5	1
idem, door LKN Gt-indeling		0	20	12	11	1	0

#### 4.2.2 Basenstatus van het grondwater

De pH en de SO<sub>4</sub>-concentratie van het grondwater nemen eenduidig toe, gaande van ombrotroof via basenarm naar basenrijk, terwijl de Al-concentratie juist afneemt in deze richting (tabel 56). Het verschil tussen de waarden voor ombrotroof en basenarm is echter duidelijk groter dan het verschil tussen basenarm en basenrijk. Ook voor de meeste andere ionen en ratio's is er een duidelijke tweedeling tussen de ombrotrofe locaties enerzijds en de basenarme en basenrijke locaties anderzijds. Het grondwater van de ombrotrofe locaties onderscheidt zich ook door zijn veel lagere Ca-concentraties en NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>- en NH<sub>4</sub>/K-ratio's en zijn hogere Al- en NO<sub>3</sub>-concentraties en zijn hogere Al/Ca-ratio.

*Tabel 56 Mediane waarden van de pH en de belangrijkste ion-concentraties en -ratio's in het grondwater als functie van de basenstatus van het grondwater*

Basenstatus grondwater	Aantal waarden	pH (-)	Concentraties (mol <sub>c</sub> .m <sup>-3</sup> )						Ratio's (mol.mol <sup>-1</sup> )		
			Ca	K	Al	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	$\frac{NH_4}{NO_3}$	$\frac{NH_4}{K}$	$\frac{Al}{Ca}$
Ombrotroof	28	4,4	0,22	0,03	0,19	0,01	0,05	0,56	0,08	0,33	0,98
Basenarm	11	5,5	2,1	0,01	0,03	0,02	0,00	0,67	3,0	1,0	0,01
Basenrijk	10	5,9	2,1	0,02	0,00	0,01	0,00	0,88	2,5	0,91	0,00
<i>Verklaarde Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>	<i>44</i>	<i>44</i>	<i>49</i>	<i>15</i>	<i>33</i>	<i>5</i>	<i>25</i>	<i>0</i>	<i>23</i>	<i>21</i>	<i>39</i>

Ook voor de EGv, de IR en de similariteit met de referentietypen zijn de verschillen tussen basenarm en basenrijk gering (tabel 57). De geringe verschillen zijn echter wel in de verwachte richting, met uitzondering van de similariteit met atmotroof water. Het grondwater van beide klassen kan getypeerd worden als matig basenrijk. Dit betekent ook dat de gehanteerde verdeling in basenarm en basenrijk weinig onderscheidend is. Een mogelijk extra oorzaak van dit probleem kan zijn dat vooral de locaties met oorspronkelijk basenrijk grondwater sterk beïnvloed zijn door de overvloedige regenval in de periode voorafgaand aan de bemonstering. De ombrotrofe locaties onderscheiden zich door hun sterk atmotrofe karakter. De similariteit met zeewater en Rijnwater meer geleidelijk toe van ombrotroof naar basenrijk (alhoewel deze trends niet significant zijn).

*Tabel 57 Mediane waarden van EGv, IR en similariteiten van het grondwater als functie van de basenstatus van het grondwater*

Basenstatus grondwater	Aantal waarden	EGv (mS m <sup>-1</sup> )	IR (%)	Similariteit met referentietype (%)			
				Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.
Ombrotroof	28	15	29	-17	53	4	25
Basenarm	11	32	72	63	-1	8	30
Basenrijk	10	33	77	86	-31	10	36
<i>Verklaarde Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>	<i>44</i>	<i>18</i>	<i>36</i>	<i>31</i>	<i>29</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

### 4.2.3 Grondsoorten

Bij vergelijking van de afzonderlijke grondsoorten onderscheidt het grondwater onder de zandgronden zich van dat onder de klei- en veengronden door zijn lagere pH, zijn lagere Ca-concentratie, zijn hogere K- en NO<sub>3</sub>-concentraties, zijn lagere NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>- en NH<sub>4</sub>/K-ratio's en zijn hogere Al/Ca-ratio (tabel 58). Dit duidt erop dat de zandgronden voor het merendeel aanzienlijk verzuurd zijn en dat uitspoeling van NO<sub>3</sub>, Al en K optreedt. Het grondwater onder de kleigronden onderscheidt zich door zijn hogere pH-waarden en lagere Al-concentraties, maar ook door hogere SO<sub>4</sub>-concentraties. Het grondwater onder de veengronden wordt gekenmerkt door lagere NO<sub>3</sub>-concentraties en hogere NH<sub>4</sub>-concentraties en NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>- en NH<sub>4</sub>/K-ratio's. Dit patroon duidt op sterke denitrificatie en een geremde nitrificatie.

Het grondwater onder de zandgronden wordt voor de meeste locatie getypeerd door atmotroof water, met relatief lage waarden voor de EGv en de IR (tabel 59). Het

grondwater onder veengronden vertoont de hoogste gelijkens met lithotroof water. De similariteit met zeewater en rijwater neemt toe in de richting veen-zand-klei. Deze volgorde reflecteert de minerale rijkdom van het moedermateriaal en was ook te zien in de  $\text{SO}_4$ -concentratie.

Tabel 58 Mediane waarden van de pH en de belangrijkste ionconcentraties en -ratio's in het grondwater als functie van de grondsoort

Grondsoort	Aantal waarden	pH (-)	Concentraties ( $\text{mol}_e\cdot\text{m}^{-3}$ )						Ratio's ( $\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )		
			Ca	K	Al	$\text{NH}_4$	$\text{NO}_3$	$\text{SO}_4$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{NO}_3}$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{K}}$	$\frac{\text{Al}}{\text{Ca}}$
Veen	15	5,5	2,7	0,01	0,01	0,03	0,01	0,42	4,2	1,7	0,00
Zand	30	4,5	0,44	0,03	0,13	0,01	0,05	0,68	0,08	0,35	0,47
Klei	4	6,1	1,8	0,01	0,00	0,01	0,03	1,0	0,91	0,42	0,00
<i>Verklaarde Variantie (% <math>R^2_{adj}</math>)</i>	22		9	3	20	17	18	12	21	19	17
<i>idem, inclusief cultuurdek</i>	21		10	0	20	21	18	10	27	24	18

Tabel 59 Mediane waarden van EGV, IR en similariteit van het grondwater als functie van de grondsoort

Grondsoort	Aantal waarden	EGV ( $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ )	IR (%)	Similariteit met referentietype (%)			
				Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.
Veen	15	28	74	89	-41	4	25
Zand	30	22	34	-6	43	8	32
Klei	4	29	78	64	2	14	37
<i>Verklaarde Variantie (% <math>R^2_{adj}</math>)</i>		0	17	11	11	6	7
<i>idem, inclusief cultuurdek</i>		0	17	10	11	5	5

#### 4.2.4 Vegetatietype

Bij vergelijking van de samenstelling van het grondwater onder de vegetatietypen is het telkens de vraag in hoeverre het vegetatietype of het landgebruik de samenstelling van het grondwater bepaald, of dat het vegetatietype juist de samenstelling van het grondwater volgt. Opvallend is dat in de meest 'onnatuurlijke' vegetatietypen, nl. donker naaldbos en maïsland, de hoogste  $\text{NO}_3$ -concentraties voorkomen (tabel 60), welke waarschijnlijk samenhangen met de hoge depositie resp. de zware bemesting van deze typen. Het grondwater onder maïsland wordt voorts gekenmerkt door de hoogste Ca- en K-concentraties (evenals Cl-concentraties; niet in tabel 60) en vrij hoge pH-waarden en  $\text{SO}_4$ -concentraties, die erop duiden dat de gekozen locatie zeer zwaar bemest is. Deze twee vegetatietypen hebben beide ook de hoogste similariteit met zeewater en Rijnwater (terwijl de similariteit met lithotroof en atmotroof water juist sterk verschilt; tabel 61). Bij elkaar duidt dit erop dat de (over)bemesting gepaard gaat met een sterk uitspoeling.

Binnen de bossen zijn duidelijke trends waarneembaar van loofbos naar licht naaldbos naar donker naaldbos. De pH en de Ca- en  $\text{SO}_4$ -concentratie nemen af in deze richting, terwijl de K-, Al- en  $\text{NO}_3$ -concentraties en de Al/Ca-ratio juist toenemen. De mediane waarde voor de Al/Ca-ratio ligt ruim boven de kritische grens van 1.

Verder onderscheidt loofbos zich door hogere  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ - en  $\text{NH}_4/\text{K}$ -ratio's. Vergelijkbare patronen zijn gevonden voor de '150 bosopstanden' (De Vries & Leeters, 1998), waar acht van de 16 boslocaties ook uit afkomstig zijn. Het grondwater onder de loofbossen is sterker lithotroof dan onder de naaldbossen (tabel 61). Dit is echter een gevolg van het uitsluitend voorkomen om ombrotrofe locaties van de naaldbossen.

De heidelocaties onderscheiden zich door hun lagere pH-waarden, lage Ca-,  $\text{NO}_3$ - en  $\text{SO}_4$ -concentraties en door vrij hoge  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ - en Al/Ca-ratio's (tabel 60). Ze zijn intermediair tussen de bos- en graslocaties voor de Al-concentraties en de  $\text{NH}_4/\text{K}$ -ratio. In het algemeen zijn het de meest voedselarme en meest verzuurde locaties. Dit blijkt ook uit de geringe waarden voor het EGV en de IR en de hoge similariteit met atmotroof water (tabel 61). De similariteit met de andere referentietypen is gering of zelfs negatief.

Het grondwater onder de graslanden onderscheidt zich door de hoge pH-waarden (geldt minder voor bemest grasland), de lage K- en Al-concentraties (tabel 60). De  $\text{NO}_3$ - en  $\text{SO}_4$ -concentraties liggen maar net boven die van grondwater onder heide. De  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ - en  $\text{NH}_4/\text{K}$ -ratio's zijn tamelijk hoog, terwijl de Al/Ca-ratio's juist laag zijn. Binnen de graslanden onderscheiden de intensief gebruikte (= regelmatig bemeste) graslanden zich van de twee andere typen door de lagere pH-waarden en de minder hoge  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ -ratio's. De Ca- en  $\text{SO}_4$ -concentraties en  $\text{NH}_4/\text{K}$ -ratio's komen sterk overeen met die voor de zeggan ('C') gedomineerde extensieve graslanden, terwijl voor de 'gewone' ('G') extensieve graslanden veel hogere waarden gevonden worden.

Tabel 60 Mediane waarden van de pH en de ionconcentraties en -ratio's in het grondwater als functie van het vegetatietype

Vegetatietype	Aantal waarden	pH (-)	Concentraties ( $\text{mol}_e \cdot \text{m}^{-3}$ )						Ratio's ( $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )		
			Ca	K	Al	$\text{NH}_4$	$\text{NO}_3$	$\text{SO}_4$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{NO}_3}$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{K}}$	$\frac{\text{Al}}{\text{Ca}}$
Donker naaldbos	6	4,2	0,30	0,04	0,62	0,01	0,80	0,70	0,01	0,13	2,3
Licht naaldbos	6	4,5	0,25	0,04	0,51	0,00	0,22	1,0	0,00	0,00	1,9
Loofbos	6	4,9	1,9	0,02	0,24	0,01	0,03	1,3	0,70	0,35	0,05
Heide	7	4,0	0,10	0,03	0,15	0,01	0,01	0,42	3,3	0,48	1,1
Jeneverbesheide	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. grasland 'C'	12	5,5	1,2	0,01	0,00	0,01	0,00	0,34	2,0	0,79	0,00
Ext. grasland 'G'	6	5,7	3,2	0,02	0,03	0,04	0,01	0,83	4,3	2,3	0,01
Int. grasland	5	5,8	1,9	0,02	0,02	0,02	0,05	0,47	0,06	0,60	0,01
Maïsland	1	5,6	6,4	0,45	0,01	0,01	10	1,0	0,00	0,03	0,00
<i>Verklaarde Variantie (% <math>R^2_{\text{adj}}</math>)</i>		35	48	31	42	24	58	34	46	38	49
<i>idem, door Veg. structuurtype</i>		32	44	30	29	21	35	28	40	37	39
<i>plus 'natuur' vs. 'cultuur'</i>		32	43	29	35	20	58	28	41	35	43

Ook voor het EGV en de IR bestaat er gelijkenis tussen de intensief gebruikte graslanden en de 'C'-extensieve graslanden (tabel 61). Bij de similariteiten onderscheidt het intensief gebruikte grasland zich echter duidelijk van de twee

extensief beheerde typen door zijn veel geringere similariteit met lithotroof water (en grotere similariteit met atmotroof water). Het grondwater in de beide extensief beheerde graslandtypen heeft de hoogste similariteit met lithotroof water van alle onderscheiden vegetatietypen. Het grondwater onder dit graslandtype heeft bovendien na dat onder heide de geringste similariteit met zee- en Rijnwater.

*Tabel 61 Mediane waarden van EGV, IR en similariteiten van het grondwater als functie van het vegetatietype*

Vegetatietype	Aantal waarden	EGV (mS.m <sup>-1</sup> )	IR (%)	Similariteit met referentietype (%)			
				Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob
Donker naaldbos	6	30	19	-11	53	31	52
Licht naaldbos	6	24	28	-30	76	8	29
Loofbos	6	33	49	19	39	17	48
Heide	7	10	17	-39	85	-19	10
Jeneverbesheide	0	-	-	-	-	-	-
Ext. grasland 'C'	12	22	73	85	-29	3	30
Ext. grasland 'G'	6	36	87	89	-29	7	28
Int. grasland	5	32	71	46	25	9	29
Maïsland	1	96	91	52	-27	79	76
<i>Verklaarde Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		40	57	38	38	55	48
<i>idem, door Veg.strukturtype</i>		41	55	42	41	51	45
<i>plus 'natuur' vs. 'cultuur'</i>		41	54	41	41	56	47

### 4.3 Relatie met het fysiotoopmodel

#### 4.3.1 Statistische analyse

Voor de meeste onderzochte variabelen geeft de combinatie van de fysiografische factoren in het fysiotoopmodel een redelijke verklaring voor de gevonden variatie in de waarnemingen (tabel 62). Geen direct significante relatie met het fysiotoopmodel is echter gevonden voor de K- en SO<sub>4</sub>-concentraties, het EGV en de similariteiten met zeewater en Rijnwater. Dit zijn echter variabelen waarin de spreiding mede, of zelfs voornamelijk, bepaald wordt door verschillen in vegetatie en landgebruik (in termen van bemesting, depositie en vochtgebruik door de vegetatie). Voor de meeste van deze variabelen levert de toevoeging van het vegetatietype aan het statistische model een belangrijke verbetering op van de verklaarde variantie. Voor het EGV en voor de beide similariteiten is de toevoeging van het vegetatietype zelfs zeer significant (P<0,001; vvv in tabel 62) en ook in het beste model heeft het vegetatietype een dominante aandeel.

De toevoeging van het vegetatie is niet alleen voor de similariteit met zeewater en Rijnwater zeer significant, maar o. Ook voor de IR en de Ca- en NO<sub>3</sub>-concentratie is de toevoeging van het vegetatietype zeer significant, wat vermoedelijk voor een belangrijk deel toe te schrijven aan het effect van de afwijkende samenstelling van het grondwater onder maïsland. Dit 'vegetatietype' komt – althans in dit onderzoek –

uitsluitende voor op ombrotrofe fysiotoepen, terwijl de (over)bemesting ertoe heeft geleid dat de hoge Ca-concentratie en het hoge EGV meer lijken op basenrijke omstandigheden.

De basenstatus van het grondwater is – alleen of in combinatie – een belangrijke verklarende factor voor de pH, alle ionconcentraties (met uitzondering van K en NH<sub>4</sub>), van de Al/Ca-ratio. Voor de similariteit met lithotroof en atmotroof water was dit ook de verwachting, maar hier is de combinatie van vegetatietype en grondsoort significanter dan de basenklasse. Ook dit komt grotendeels door de belaste locaties, omdat een analyse zonder deze locaties wel resulteert in de selectie van de basenklasse.

De Gt levert vooral een significante bijdrage aan de verklaring van de concentratie en ratio's van NH<sub>4</sub>, en in mindere mate ook aan de verklaring van verschillende andere variabelen. De grondsoort is doorgaans weinig onderscheidend en is daarom slechts enkele malen in beste model opgenomen. Dit hangt mogelijk ook samen met het feit dat het grondwater in de ondergrond bemonsterd is. Op verschillende locaties is de diepte waarop het grondwater bemonsterd is, in of dichtbij een andere grondsoort dan de grondsoort waarmee het fysiotoop getypeerd is (= de bovengrond).

*Tabel 62 Resultaten van de regressie-analyse voor de pH, de ionconcentraties en ratio's, de EGV en IR en de similariteiten van het grondwater*

Geanalyseerde grootheid	Volledig fysiotoop		id. + vegetatietype		Beste statistische model		
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>2)</sup>
pH	39	***	60	*** vv	Bas + Veg	62	***
Ca	47	***	74	*** vvv	Bas + Veg + Grond + Dek	74	***
K	11	*	32	** v	Veg + Gt	34	**
Al	34	***	56	*** vv	Bas + Gt + Veg	57	***
NH <sub>4</sub>	41	***	46	*** -	Gt	45	***
NO <sub>3</sub>	34	***	70	*** vvv	Bas + Veg	70	***
SO <sub>4</sub>	16	*	47	*** vv	Grond + Bas + Veg	48	***
$\frac{NH_4}{NO_3}$	65	***	70	*** v	Gt	65	***
$\frac{NH_4}{K}$	61	***	68	*** vv	Gt + Dek + Veg	69	***
$\frac{Al}{Ca}$	39	***	63	*** vvv	Bas + Gt + Veg	63	***
EGV	17	*	61	*** vvv	Bas + Gt + Veg	62	***
IR	42	***	79	*** vvv	Gt + Grond + Veg	80	***
Sim. Lith.	28	**	50	*** vv	Veg + Grond	53	***
Sim. Atm.	32	***	53	*** vv	Veg + Grond	55	***
Sim. Thal.	10	-	55	*** vvv	Bas + Veg	58	***
Sim. Rhlob.	13	*	58	*** vvv	Veg + Gt	58	***

<sup>1)</sup> bestaande uit onafhankelijke combinatie van Basen+Gt+Grond+Dek

<sup>2)</sup> significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001 (v: idem voor bijdrage vegetatietype).

### 4.3.2 Voorspelde waarden per fysiotoop

#### *pH, EGV en ionconcentraties*

Voor de pH, het EGV en alle ion-concentraties zijn de schattingen berekend voor die de klassen in basenstatus, uitgaande van het volledige fysiotoopmodel (tabel 63). De pH en de Ca-concentratie zijn verder geselecteerd als belangrijkste variabelen en zijn daarom voor alle afzonderlijke fysiotoopen berekend (tabel 64).

Zoals uit de regressie-analyse al bleek (tabel 62), is voor de pH en de Ca-concentratie de basenstatus van het grondwater de belangrijkste onderscheidende factor. Deze lopen sterk op van ombrotroof naar basenarm en nog verder op naar baserijk (tabel 64 en 63). Behalve voor de Ca-concentratie, is er ook een toename van de concentratie met toenemende baserijkdom van het grondwater voor Si, Mg, Na, Cl en HCO<sub>3</sub> en een afname voor Al (tabel 63). Al deze trends zijn in overeenstemming met wat vanuit het principe van het fysiotoopmodel verwacht zou kunnen worden. Voor de overige ionen konden geen eenduidige trends met de baserijkdom van het grondwater aangetoond worden. De verschillende schattingen voor de HCO<sub>3</sub>-concentratie leveren weliswaar sterk verschillende waarden op, maar wel vrijwel steeds een toename met de baserijkdom. Gezien de onzekerheden in de schattingen en de plausibiliteit van de schattingen, is het alternatief waarbij HCO<sub>3</sub> zo 'onbekend mogelijk' gehouden is (de vierde optie), als uitgangspunt gebruikt voor de verdere presentaties.

De waarden voor de afzonderlijke fysiotoopen laten zien dat er een afname is met de Gt voor de pH en de Ca-concentratie (tabel 64), welke echter niet significant bijdraagt aan het beste model (tabel 62). Dit verloop hangt mogelijk samen met het verloop in de verblijftijd van en de bergingscapaciteit voor neerslagwater in de ruimte tussen maaiveld en grondwater. De verschillen tussen de grondsoorten zand en veen zijn gering. De kleigronden onderscheiden zich echter door een hogere pH en een lagere Ca-concentratie. Analyse van de schattingen voor andere ionen laat zien, dat voor de meeste ionen de schattingen voor de baserijke kleigronden in dezelfde order van grootte liggen als de schattingen voor basenarme veen- en zandgronden. Dit duidt erop dat de geselecteerde kleigronden niet of slechts gedeeltelijk voldoen aan de criteria voor baserijke fysiotoopen.

*Tabel 63 Schatting van de pH en de ionconcentraties onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van de basenstatus van het grondwater op basis van de uitkomsten van het volledige regressiemodel*

Basenstatus grondwater	pH (-)	EGV (mS.m <sup>-1</sup> )	Concentraties (mol <sub>c</sub> .m <sup>-3</sup> )																
			Si	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <.....	HCO <sub>3</sub> <sup>1)</sup> >.....>			
Ombrotroof	4,5	12	0,28	0,17	0,10	0,03	0,16	0,06	0,02	0,00	0,01	0,02	0,51	0,40	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
Basenarm	5,2	28	1,2	1,1	0,35	0,01	0,18	0,05	0,14	0,01	0,01	0,01	0,90	0,57	0,00	0,23	0,04	0,54	0,49
Baserijk	5,7	33	1,7	2,2	0,34	0,02	0,22	0,00	0,05	0,01	0,01	0,01	0,32	0,86	0,00	0,16	0,07	1,8	1,5

<sup>1)</sup> De verschillende HCO<sub>3</sub>-concentraties zijn als volgt berekend: (i) de voorspelde waarden op basis van de schattingen uit de ionenbalans per locatie, (ii) de voorspelde waarden op basis van de schattingen per locatie door MAION (tabel 51), (iii) de berekende concentratie op basis van de ionenbalans van de hier berekende concentraties voor de overige ionen en (iv) de schatting die Maion geeft wanneer ook voor deze klassen de HCO<sub>3</sub>-concentratie onbekend verondersteld wordt.

Tabel 64 Schatting van de pH (-) en de Ca-concentratie (mol<sub>c</sub>m<sup>-3</sup>) onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van fysiotoop op basis van de uitkomsten van het regressiemodel

Voorspelde variabele	Grondwater-trap	Basenstatus grondwater / Grondsoort						
		Ombrotroof			Basenarm		Basenrijk	
		Veen	Zand	-/+ cultuurdek <sup>1)</sup>	Veen	Zand	Veen	Klei
pH (-)	I	4,6	4,6		5,3	5,3	5,9	6,2
	II-II*	4,5	4,5		5,2	5,2	5,8	6,1
	III-III*-IV	4,5	4,5		5,1	5,1	5,7	6,0
	V-V*	4,4	4,4	-	5,1	5,1	5,7	6,0
	VI-VII-VIII	4,4	4,4	-	5,0	5,0	5,6	5,9
Ca-concentratie (mmol <sub>c</sub> m <sup>-3</sup> )	I	0,19	0,23		1,3	1,6	2,5	1,9
	II-II*	0,18	0,22		1,2	1,5	2,4	1,8
	III-III*-IV	0,16	0,19		1,1	1,3	2,1	1,6
	V-V*	0,14	0,16	-	0,92	1,1	1,8	1,3
	VI-VII-VIII	0,11	0,13	-	0,72	0,86	1,4	1,2

<sup>1)</sup> Onvoldoende waarnemingen voor een schatting voor fysiotoopen met een cultuurdek.

De verwerking van de geschatte samenstelling per fysiotoop in de vorm van Maucha-diagrammen verschaft een snelle illustratie van de relatieve grootte van de concentraties van de ionen die van belang zijn voor de typering door MAION. De afbeelding van de (geclusterde) basenklassen (fig. 11) laat een sterk contrast zien tussen de het ombrotrofe grondwater type aan de ene kant en het basenrijke type aan de andere kant met het basenarme type op een duidelijk intermediaire positie. Het ombrotrofe type wordt getypeerd door Na als belangrijkste kation en Cl en SO<sub>4</sub> als belangrijkste anionen. Het basenrijke type wordt getypeerd door Ca als belangrijkste kation en HCO<sub>3</sub> als belangrijkste anion. De intermediaire positie van het basenarme type blijkt uit de dominantie Ca als dominante kation, wat het meest lijkt op het basenrijke type, en SO<sub>4</sub> (en Cl) als belangrijkste anion, wat het meeste lijkt op het ombrotrofe type.

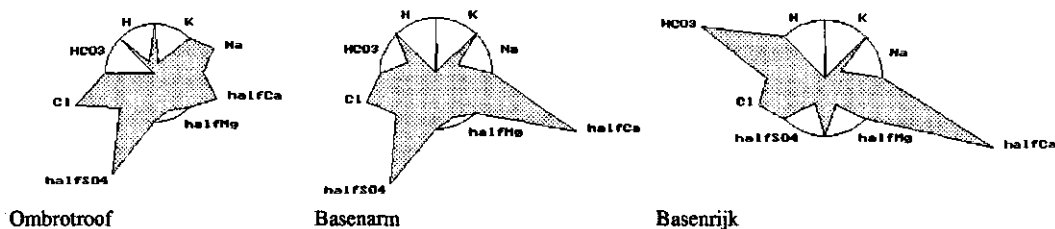


Fig. 11 Maucha-diagrammen van de chemische samenstelling van het grondwater op basis van de voorspelde waarden van de afzonderlijke ionconcentraties voor de (geclusterde) grondwaterklassen 'ombrotroof', 'basenarm' en 'basenrijk'

De Maucha-diagrammen voor de afzonderlijke fysiotooptypen vertonen kleine (fig. 12) variaties op het beeld van de geclusterde typen. Er lijkt enige overlap te bestaan tussen de hoofdtypen 'basenarm' en 'basenrijk'. Zoals reeds geconstateerd lijken de 'basenrijke kleigronden' beter te passen in de cluster 'basenarm'.



### ***Similariteiten met referentietypen***

Het vaststellen van de similariteiten van het grondwater met de referentietypen voor de afzonderlijke of geclusterde fysiotooptypen is gebeurd door het invoeren van de geschatte pH, EGV en de ionconcentraties in MAION (tabel 66 en 67). Hiermee corresponderen de similariteiten (en mengverhoudingen) dus rechtstreeks met de geschatte concentraties. Om echter ook een vergelijking mogelijk te maken met de statistische analyse op de similariteiten die op de afzonderlijke monsters bepaald zijn, is hier ook kort een overzicht bijgevoegd van de resultaten van de voorspelde similariteiten op basis van deze methode (tabel 65). Bij beide methodes is ook het effect van het onbekend veronderstellen van de  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie meegenomen. De berekende concentraties zijn verder gebruikt om de afzonderlijke fysiotopten en de per basenklasse geclusterde fysiotopten in Lithotroof-Thalassotroof-diagrammen te plaatsen (fig. 13).

Alhoewel theoretische de verschillen vrij groot zijn, is het patroon en het verloop van de similariteiten en mengverhoudingen volgens de verschillende methoden goed vergelijkbaar. De similariteit met lithotroof water neemt, zoals verwacht, toe met de basenrijkdom en die met atmotroof water af (tabel 66 en 67). De geschatte waarden door het regressiemodel vertonen over het algemeen een wat grotere similariteit met lithotroof water en een geringere similariteit met atmotroof water. Bij de varianten met onbekende  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie vertoont de similariteit met lithotroof water een scherpere gradiënt dan wanneer een berekende  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie meegenomen wordt. Verder vertonen de similariteit met zeewater (Thal.) en Rijnwater (Rhlob) in alle varianten een duidelijke toename met de toenemende basenrijkdomklasse. Dit is vermoedelijk de invloed van oppervlaktewater en lokale, mogelijk 'verontreinigde', lokale kwel in de beekdalen, waar de meer basenrijke typen geconcentreerd zijn. Het mengaandeel thalassotroof water blijft echter gering, ondanks de toename van de similariteit.

Naast de basenstatus van het grondwater als overheersende factor zijn er ook verbanden met de Gt en de grondsoort (tabel 67). De patronen voor de similariteit met lithotroof en atmotroof water zijn globaal gelijk aan die in de pH en Ca-concentraties (tabel 64). Ook hier neemt de similariteit met lithotroof water toe met toenemende basenrijkdom en iets af met toenemende Gt. Ook zijn de verschillen tussen de veen- en zand-fysiotopten gering, vooral in de ombrotrofe groep, en lijken de klei-fysiotopten niet in de basenrijke groep thuis te horen maar in de basenarme. De patronen voor de similariteit met atmotroof water zijn, zoals te verwachten, globaal precies tegenovergesteld. In enkele gevallen past de waarde voor Gt I niet in de continu stijgende of dalende lijn. Dit hangt samen met de verschillende transformaties voor de Gt voor de verschillende ionen (voor meer detail zie par. 6.2).

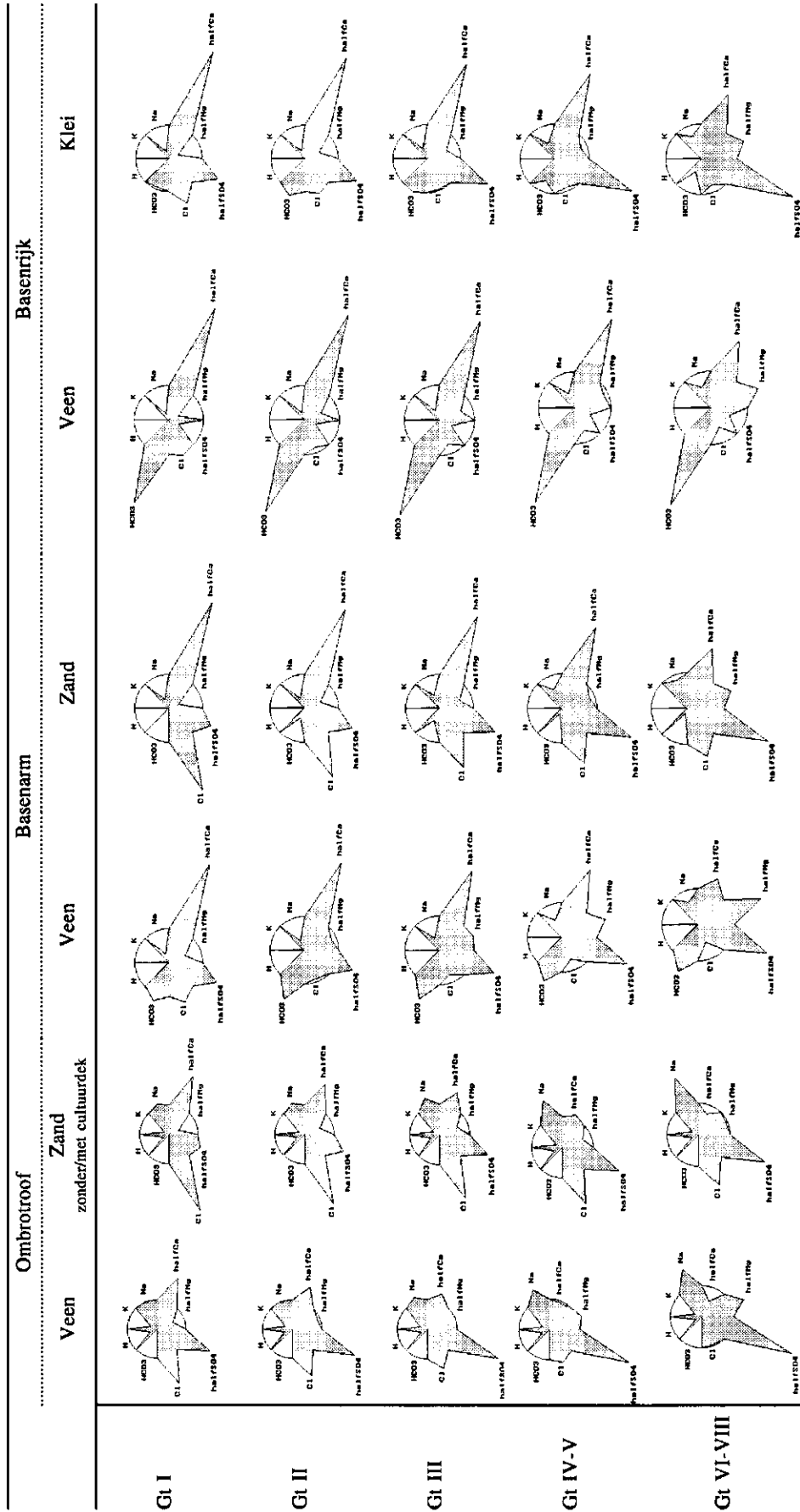


Fig. 12 Maucha-diagrammen van de chemische samenstelling van het grondwater op basis van de voorspelde waarden van de afzonderlijke ionconcentraties voor de afzonderlijke fysiotootypen

Wanneer de fysiotoepen geordende worden in een Lithotroof-Thalassotroof-diagram, liggen de drie hoofdtypen ('ombrotroof', 'basenarm' en 'basenrijk'; fig. 13) vrijwel op de lijn die van het referentietype 'Atmotroof' naar het referentietype 'Lithotroof' loopt. De ombrotrofe fysiotooptypen liggen sterk gegroepeerd om het geclusterde ombrotrofe type voor (fig. 13a). De basenarme en basenrijke fysiotooptypen komen meer verspreid voor en vertonen ook enige overlap, welke grotendeels samenhangt met de minder optimale plaatsing van de kleigronden (fig. 13c). De achtereenvolgende Gt's liggen op de gebogen lijn die al bij tabel 67 geconstateerd was (fig. 13b).

*Tabel 65 Schatting van de similariteit van het grondwater met de referentietypen, onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van het onderdeel 'basenklasse van het grondwater' van het fysiotoopmodel, geschat met behulp van regressie op de similariteiten per monster (= locatie)*

Basenstatus grondwater	Similariteit (%) 'HCO <sub>3</sub> bekend' <sup>1)</sup>				Similariteit (%) 'HCO <sub>3</sub> onbek.' <sup>2)</sup>				Fict. mengverh. (%) <sup>3)</sup>		
	Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.	Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.	Lith.	Atm.	Thal.
Ombrotroof	-7	56	-11	17	-17	62	-8	18	6,7	93,3	0,06
Basenarm	46	4	6	27	38	9	9	30	31,9	68,0	0,15
Basenrijk	73	-23	19	44	79	-25	18	46	38,4	61,4	0,19

<sup>1)</sup> HCO<sub>3</sub> bekend = op basis berekende HCO<sub>3</sub>-concentratie uit ionenbalans per locatie.

<sup>2)</sup> HCO<sub>3</sub> onbekend = op basis van schattingen met MAION met een onbekend veronderstelde HCO<sub>3</sub>-concentratie.

<sup>3)</sup> Verschillende berekenwijzen voor HCO<sub>3</sub> niet van invloed op mengverhouding.

*Tabel 66 Schatting van de similariteit van het grondwater met de referentietypen, onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van het onderdeel 'basenklasse van het grondwater' van het fysiotoopmodel op basis van de geschatte concentraties door het regressiemodel*

Basenstatus grondwater	Similariteit (%) 'HCO <sub>3</sub> bekend' <sup>1)</sup>				Similariteit (%) 'HCO <sub>3</sub> onbek.' <sup>2)</sup>				Fict. mengverh. (%) <sup>3)</sup>		
	Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.	Lith.	Atm.	Thal.	Rhlob.	Lith.	Atm.	Thal.
Ombrotroof	-28	84	-5	20	-31	84	-4	20	2,4	97,6	0,06
Basenarm	41	24	28	51	41	24	28	51	19,3	80,6	0,08
Basenrijk	55	-12	27	56	91	-39	17	47	37,6	62,3	0,13

<sup>1)</sup> HCO<sub>3</sub> bekend = op basis berekende HCO<sub>3</sub>-concentratie uit ionenbalans per locatie.

<sup>2)</sup> HCO<sub>3</sub> onbekend = op basis van schattingen met MAION met een onbekend veronderstelde HCO<sub>3</sub>-concentratie.

<sup>3)</sup> Verschillende berekenwijzen voor HCO<sub>3</sub> niet van invloed op mengverhouding.

*Tabel 67 Schatting van de similariteit van het grondwater met de similariteiten (%) met lithotroof en atmotroof water onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van fysiotoop op basis van de uitkomsten van de geschatte concentraties door het regressiemodel*

Voorspelde variabele	Grondwater- trap	Basenstatus grondwater / Grondsoort						
		Ombrotroof			Basenarm		Basenrijk	
		Veen	Zand	+/- cultuurdek <sup>1)</sup>	Veen	Zand	Veen	Klei
Similariteit met Lithotroof water (%)	I	-21	-23		67	25	91	55
	II-II*	-24	-25		76	36	95	62
	III-III*-IV	-28	-29		74	38	97	58
	V-V*	-31	-34	-	61	28	98	42
	VI-VII-VIII	-36	-39	-	45	16	90	22
Similariteit met Atmotroof water (%)	I	76	60		-1	35	-40	9
	II-II*	79	68		-11	2	-46	-4
	III-III*-IV	80	77		-9	8	-49	-10
	V-V*	79	84	-	-1	21	-51	-25
	VI-VII-VIII	72	87	-	-3	12	-32	-36

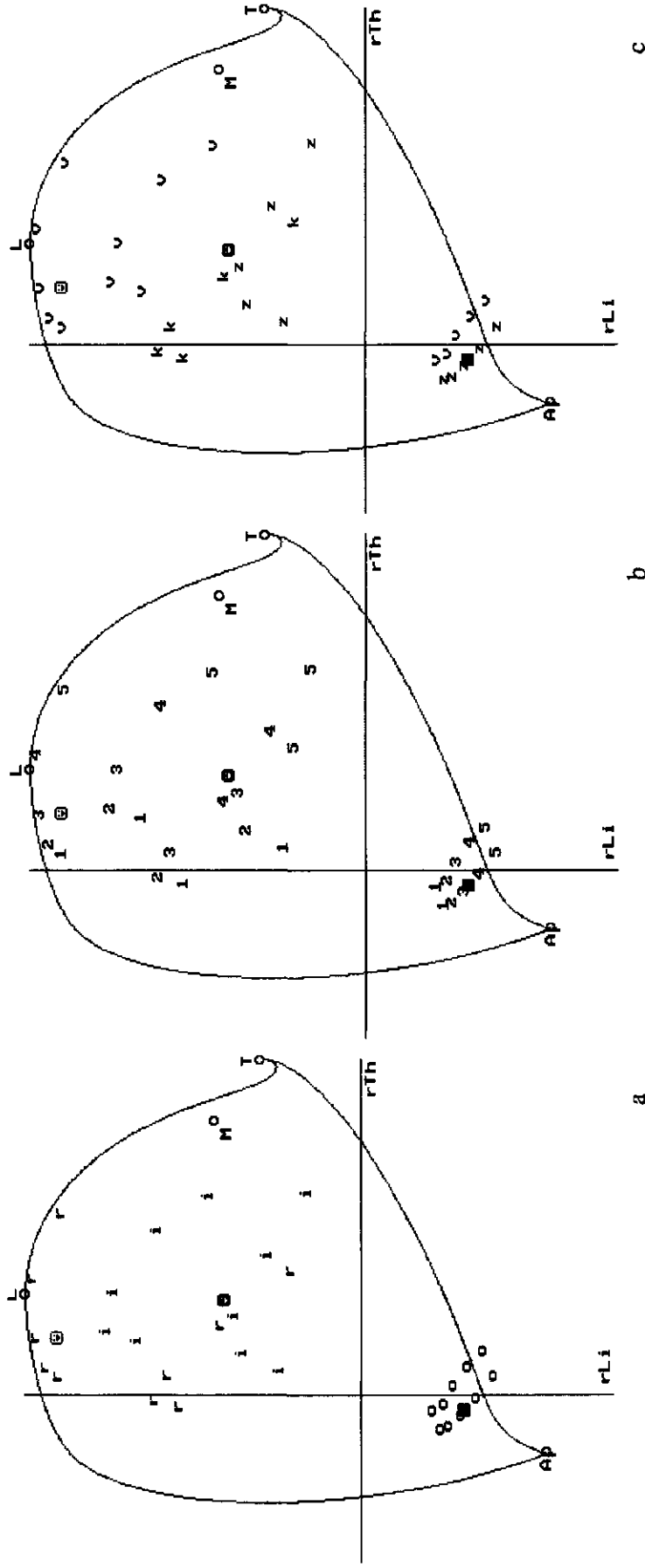
<sup>1)</sup> Onvoldoende waarnemingen voor een schatting voor fysiotoopen met een cultuurdek.

#### 4.4 Conclusies

De conclusies met betrekking tot de samenstelling van het grondwater vallen uiteen in conclusies over de samenstelling zelf, de bewerkingen daarvan met MAION en conclusies over de implicaties van deze resultaten voor het fysiotoopmodel.

Met betrekking tot de chemische samenstelling zijn de volgende conclusies te trekken:

1. Voor de meeste gemeten ionen is een ruime spreiding in concentraties aangetroffen die goede mogelijkheden bood voor de beoogde toepassingen.
2. Voor de pH en de concentraties van Ca, K en Al (en de Al/Ca-ratio) geeft van de fysiografische factoren vooral de basenklasse van het grondwater de beste verklaring van de gevonden variatie.
3. Van de andere fysiografische factoren geeft de Gt een goede bijdrage aan de verklaring voor de variatie in de NH<sub>3</sub>-concentratie en de daarvan afgeleide ratio's.
4. Het vegetatietype is vooral van belang voor de verklaring van de variatie in de concentraties van 'meststoffen': met de NO<sub>3</sub>-concentratie, maar ook de Ca- en Cl-concentraties.
5. Het ontbreken van een betrouwbare meting van de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (en CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)concentratie is een belangrijke tekortkoming gebleken, omdat deze niet eenduidig uit de ionenbalans af te leiden is (zijn).



Legenda:  
 Referentietype: L=Lithotroof, A=Atmosroof, T=Thalassotroof, M=Rijnwater  
 Basenrijdomklassen: o=Ombrotroof, i=Basenarm ('intermediar), r=Basenrijk  
 Grondwatertrappen: 1=Gt I, 2=Gt II, 3=Gt III, 4=Gt IV, V, 5=Gt VI-VIII  
 Grondsoorten: v=veen, z=zand, k=klei  
 Geclusterde basenrijdomklassen: ■=Ombrotroof, ●=Basenarm, ⊙=Basenrijk

Fig. 13 Plaatsing van de voorspelde waarden van de grondwatersamenstelling in Lithotroof-Thalassotroof-diagrammen

Met betrekking tot de bewerkingen met MAION zijn de volgende conclusies te trekken:

1. De resultaten van de meeste locaties, vooral de weinig belaste locaties, zijn geschikt voor de typering door MAION.
2. MAION is minder geschikt voor locaties die zwaar bemest worden of die een hoge atmosferische depositie kennen, omdat het onvoldoende rekening kan houden met de hoge concentraties van de ionen die met deze verschijnselen samenhangen, met name  $\text{NO}_3$  en  $\text{NH}_4$ .
3. De door MAION geschatte similariteiten met Lithotroof en Atmotroof water hangen vooral samen met de klasse in basenrijkdom van het grondwater, andere criteria zijn van ondergeschikt belang. Voor de similariteit met Rijnwater en zeewater speelt het vegetatietype (bemesting, depositie!) een belangrijke rol.
4. Het grondwater in de ombrotrofe fysiotooptypen komt vrij nauw overeen met het atmotrofe referentietype.
5. Het grondwater in de basenarme en basenrijke fysiotooptypen verschilt niet veel, met een vrij grote similariteit met het lithotroof referentiewater. Wel lijken deze monsters beïnvloed te zijn door de grote neerslaghoeveelheden in de periode voorafgaand aan de bemonstering.

Met betrekking tot de implicaties voor het fysiotoopmodel van de gevonden resultaten zijn de volgende conclusies te trekken:

1. De basenrijkdomklasse is het belangrijkste indelingscriterium.
2. De ombrotrofe fysiotooptypen vormen een duidelijk onderscheiden, homogene groep.
3. De basenarme en basenrijke fysiotooptypen vormen twee duidelijk minder homogene groepen die bovendien overlap vertonen.
4. Een belangrijke verbetering zou verkregen kunnen worden door een heroverweging van de plaatsing van de kleigronden in het model: nu worden deze allemaal als basenrijk getypeerd (op basis van hun mineralogische kenmerken), waarbij de landschappelijke positie, waarschijnlijk onterecht, geen rol speelt.

## 5 Chemische samenstelling van het bodemvocht

### 5.1 Algemene karakterisering

De chemische samenstelling van het bodemvocht is bepaald in de lagen 1 en 3 van alle 50 nieuw bemonsterde locaties, aangevuld met dezelfde gegevens voor de dertien locaties uit eerdere onderzoeken. Verder is de chemische samenstelling van het 'bodem' vocht in de strooisellaag bepaald voor de nieuwe locaties waar een strooisellaag aangetroffen is. Dit was het geval op negen boslocaties en op twee locaties met jeneverbes en heide. Dit hoofdstuk geeft een algemeen overzicht van de resultaten, gevolgd door overzichten voor de afzonderlijke klasse-indelingen, de relatie met het volledige fysiotoopmodel en tot slot de correlatie met de chemische samenstelling van het freatische grondwater.

De tabellen 68, 69 en 70 geven de frequentieverdelingen voor alle gemeten variabelen en verschillende daarvan afgeleide ratio's. Hierbij zijn de gegevens voor de lagen 1 en 3 en die voor de strooisellaag samengevoegd tot een verzameling van 137 (63+63+11) waarnemingen. De meeste elementen vertonen een aanzienlijke spreiding. Verder is de verdeling meestal tamelijk scheef. De mediaan ligt in het algemeen veel dicht bij de onderzijde van de frequentieverdeling (het minimum en de 5-percentielwaarde) dan bij de bovenzijde (het maximum en de 95-percentielwaarde).

*Tabel 68 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de pH en de ionconcentraties in het bodemvocht*

Percentiel-waarde	pH (-)	EGV (mS.m <sup>-1</sup> )	Concentraties (mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup> )														
			H	Si	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
Minimum	3,3	6	0,00	0,07	0,09	0,04	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,19	0,00	0,00
5-percentiel	3,4	10	0,00	0,18	0,12	0,06	0,02	0,13	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,20	0,26	0,00	0,00
50-percentiel	4,1	17	0,08	0,87	0,59	0,21	0,09	0,47	0,13	0,04	0,01	0,08	0,20	0,62	0,74	0,00	0,15
95-percentiel	6,7	48	0,34	2,0	2,5	0,89	0,72	1,7	1,9	0,17	0,04	0,63	2,5	2,4	2,2	0,10	1,1
Maximum	7,3	64	0,52	3,1	14	2,2	3,7	3,4	4,7	0,48	0,44	1,3	9,1	4,8	3,9	0,16	13

Naast een analyse van de absolute concentraties, kunnen de gevonden concentraties beschouwd worden in relatie tot de concentraties van andere ionen. De verhouding van een zeker ion wordt enerzijds bepaald door chemische eigenschappen van het aangevoerde water (neerslag, kwel) in interactie met de bodem en de nutriëntencyclus en anderzijds door hydrologische verschijnselen. In dit laatste perspectief zijn de hoogte van de grondwaterstand (de Gt), het voorkomen van kwel of juist inzijging en het watergebruik van de vegetatie de belangrijkste factoren. Met name in droge (hoog gelegen) fysiotopten waar uitsluitend inzijging optreedt, kan het waterverbruik van de vegetatie een zeer belangrijke rol spelen. Verder kan vermenging van regenwater met grondwater van een sterk wisselende kwaliteit van belang zijn.

Het gebruik van de relatieve concentratie van de verschillende ionen ten opzichte van de Cl<sup>-</sup>-concentratie kan een indruk geven van de restspreiding nadat gecorrigeerd is voor indikkings- of verdunningseffecten als gevolg van verschillen in watergebruik door de

vegetatie en bijmenging van grondwater (tabel 69). Hoewel deze waarden wel van indicatief belang zijn, zijn voor de aanwezige vegetatie de werkelijk aangetroffen concentraties vaak echter belangrijker dan deze relatieve waarden. Wel zijn er diverse andere ratio's die wel een duidelijke betekenis hebben voor de beschikbaarheid van nutriënten en/of toxische elementen of die een indicatie geven over de actuele toestand van de verzuring en de eutrofiëring van de bodem. De spreiding van een ruime selectie van dit soort ratio's is opgenomen in tabel 70.

*Tabel 69 Minimum, maximum, 5-, 50- en 95-percentielwaarden van de relatieve concentraties ( $\text{mol}_c \cdot \text{mol}_c^{-1}$ ) in het bodemvocht ten opzichte van de Cl-concentratie*

Percentielwaarde	H	Si	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
Minimum	0,02	0,08	0,09	0,05	0,02	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
5-percentiel	0,09	1,29	0,16	0,12	0,04	0,27	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,32	0,00	0,00
50-percentiel	0,40	0,98	0,58	0,26	0,11	0,59	0,24	0,05	0,01	0,13	0,27	0,79	0,01	0,25
95-percentiel	2,7	3,4	3,8	0,84	0,76	1,4	1,2	0,26	0,09	0,64	2,1	2,6	0,11	2,3
Maximum	10	5,9	7,9	2,1	3,8	4,0	2,1	1,3	0,46	1,6	9,9	5,0	0,26	7,2

*Tabel 70 Minimum, maximum, 5-, 50- and 95-percentielwaarden van een brede selectie van ionratio's ( $\text{mol}_c \cdot \text{mol}_c^{-1}$ ) in het bodemvocht*

Percentiel-waarde	$\frac{\text{NH}_4}{\text{NO}_3}$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{K}}$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{Mg}}$	$\frac{\text{NO}_3 + \text{NH}_4}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{NO}_3 - \text{NH}_4}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{Al}^{1)}}{\text{Ca}}$	$\frac{\text{Al}^{1)}}{\text{Bas}^{2)}}$	$\frac{\text{H-Al}}{\text{NO}_3 + \text{SO}_4 - \text{NH}_4}$	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{NO}_3 + \text{SO}_4}$	IR <sup>3)</sup>
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,04	-0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	8
5-percentiel	0,03	0,14	0,05	0,11	-0,41	0,00	0,00	0,01	0,00	14
50-percentiel	0,47	1,2	0,49	0,50	0,10	0,28	0,06	0,50	0,21	37
95-percentiel	8,3	4,2	2,1	3,8	2,3	2,5	0,35	1,2	2,1	79
Maximum	43	7,1	4,8	33	31	6,1	0,70	3,3	3,5	89

<sup>1)</sup> Al/Ca en Al/Bas-ratio's in  $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$

<sup>2)</sup> Bas (basische kationen) = Ca+Mg+K+Na

<sup>3)</sup> IR (ionenratio) = Ca/(Ca+Cl), uitgedrukt als percentage

## 5.2 Verschillen tussen de lagen

De samenstelling van het bodemvocht wordt globaal beïnvloed door de aanvoer van bovenaf (neerslag, atmosferische depositie en bemesting) door aan- en afvoer aan de onderzijde (kwel en inzijging), door de (interne) nutriëntenkringloop en door de vochttoestand van de bodem. Verwacht wordt dat in droge grondwater-onafhankelijke systemen vooral de aanvoer van boven en de vegetatie van belang zijn en dat de invloed van de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater toeneemt naarmate het systeem natter is en de kwel grote. Verder zal de invloed van de vegetatie bovenin het profiel groter zijn dan dieper in het profiel, terwijl dieper in het profiel de relatie met de kwaliteit van het grondwater toe zal nemen. In droge, volledig grondwater-onafhankelijke systemen reikt het effect van de vegetatie veel dieper, en in zeer natte systemen is de invloed van het grondwater ook bovenin het profiel duidelijk merkbaar. Voor het vocht in de strooisellaag wordt een nog sterkere relatie met het vegetatietype verwacht omdat hier de mineralisatie van organische stof met een duidelijk vegetatie-afhankelijke chemische samenstelling een rol speelt.



Het bodemvochtmonster van 'de ondergrond' (laag 3) is in het algemeen afkomstig van onder de wortelzone. De chemische samenstelling van dit monster geeft een indruk van de kwaliteit van het van onderaf aangevoerde water (in kwelsituaties) of van het wegzijgende water (in infiltratiesituaties). Het bodemvochtmonster uit de bovengrond ('laag 1') is bemonsterd in een bovenlaag van 10 tot 30 cm, afhankelijk van het vegetatietype (paragraaf 2.2), waarin de meeste wortels verwacht werden. Voor de strooisellaag zijn uitsluitend gegevens beschikbaar voor boslocaties, waardoor bij vergelijking met de minerale lagen uitsluitend deze locatie meegenomen kunnen worden.

Over het algemeen zijn de concentraties Ca, K, NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> in de bovengrond hoger dan in de ondergrond (tabel 71). Dit zal voornamelijk samenhangen met de nutriëntenkringloop, waarbij deze ionen vrijkomen uit de mineralisatie van organische stof in en op de bovengrond. Dit verschijnsel blijkt nog sterker in de strooisellaag, waar nog hogere concentraties van deze ionen gevonden zijn.

*Tabel 71 Mediane waarden van de pH en de belangrijkste ionconcentraties en -ratio's in het bodemvocht als functie van de bodemlaag*

Laag	pH (-)	Concentraties (mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup> )							Ratio's (mol.mol <sup>-1</sup> )		
		Ca	K	Al	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	$\frac{NH_4}{NO_3}$	$\frac{NH_4}{K}$	$\frac{Al}{Ca}$
Strooisellaag (N=11)	3,7	0,64	0,37	0,09	0,44	0,94	0,50	1,0	0,48	1,1	0,09
<i>Korte vegetaties (N=33):</i>											
Laag 1 (0-10 cm)	5,2	0,82	0,05	0,09	0,07	0,16	0,62	0,53	0,34	1,3	0,07
Laag 3 (30-60 cm)	5,4	0,61	0,04	0,07	0,06	0,05	0,44	0,44	1,5	1,6	0,09
<i>Opgaande Vegetaties (N=30):</i>											
Laag 1 (0-30 cm)	3,7	0,42	0,18	0,50	0,22	0,52	0,72	1,0	0,48	1,1	0,91
Laag 3 (60-100 cm)	4,0	0,39	0,09	0,41	0,07	0,36	0,76	1,2	0,29	0,79	1,2
<i>Alle locaties (N=63):</i>											
Laag 1	4,1	0,61	0,14	0,13	0,10	0,25	0,65	0,76	0,40	1,2	0,29
Laag 3	4,2	0,55	0,07	0,15	0,07	0,12	0,60	0,65	0,49	1,2	0,36
Verkl. Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	23	0	11	6	0	4	1	0	5	4	3

Wanneer de korte en de opgaande vegetaties afzonderlijk worden beschouwd, neemt de Al-concentratie af met de diepte (zij het op een verschillend niveau), terwijl bij alle locaties tezamen deze juist iets toeneemt met de diepte (tabel 71). Verwacht zou worden, dat de Al-concentratie toeneemt met de diepte, zeker voor droge gronden met een voornamelijk neerwaartse vochtbeweging. Dit hangt namelijk samen met de mobilisatie van Al als gevolg van verzuring in systemen die overwegend op inzijgingslocaties voorkomen en daarnaast mogelijk sprake van 'indikking' als gevolg van onttrekking van bodemvocht door de vegetatie. Dit laatste verschijnsel wordt bevestigd door de het verloop van de Cl- en SO<sub>4</sub>-concentraties voor de opgaande vegetaties (de voornamelijk op droge gronden voorkomen).

De pH neemt toe met de diepte voor zowel de korte als de opgaande vegetatietypen (tabel 71). Dit duidt erop dat verzurende belasting bovenop het profiel gebufferd wordt door bufferreacties met het bodemmateriaal en eventueel beschikbaar basenhoudend grondwater.

### 5.3 Relatie met de afzonderlijke indelingscriteria

Deze paragraaf geeft de mediane waarden per klasse voor de indelingen in Gt, basenrijkdom van het grondwater, grondsoort en vegetatietype voor de belangrijkste bodemvochtvariabelen. Deze getallen geven een eerste indruk van het effect van deze factoren. Een directe relatie is op basis van deze getallen echter niet vast te stellen, omdat tussen de klassen in de gepresenteerde klasse-indeling de verdeling over andere indeling kan verschillen (waardoor effecten verstrengeld kunnen zijn met effecten van andere factoren).

#### *Grondwatertrappen*

Slechts enkele van de bodemvochtvariabelen laten een geleidelijk verloop met de Gt zien, namelijk de K- en de NO<sub>3</sub>-concentratie en de NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>-ratio (tabel 72). De NO<sub>3</sub>-concentratie neemt toe met oplopende Gt en de NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>-ratio (dus) af. Dit duidt erop, dat de er in toenemende mate denitrificatie optreedt bij een steeds nattere Gt. Of een geremde nitrificatie hierbij ook van belang is, blijkt niet duidelijk uit het verloop van de NH<sub>4</sub>-concentratie met de Gt. De NH<sub>4</sub>/K-ratio laat echter wel een onderscheid zien tussen in een natte groep (Gt I en II: hoge waarden) en een drogere groep (Gt III en droger: lage waarden). De patronen voor de pH, de Al-concentraties en de Al/Ca-ratio zijn goed met elkaar vergelijkbaar. De pH neemt (onregelmatig) af met oplopende Gt, terwijl de Al-concentratie en de Al/Ca-ratio toenemen. Het onregelmatige verloop hangt vooral voor deze variabelen samen met de ongelijke verdeling van de klassen in basenrijkdom over de Gt-klassen.

Tabel 72 Mediane waarden van de pH en de belangrijkste ionconcentraties en -ratio's in het bodemvocht als functie van de grondwatertrap

Gt-klasse	Aantal locaties	pH (-)	Concentraties (mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup> )						Ratio's (mol.mol <sup>-1</sup> )		
			Ca	K	Al	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	$\frac{NH_4}{NO_3}$	$\frac{NH_4}{K}$	$\frac{Al}{Ca}$
Gt I	4	5,2	0,69	0,04	0,07	0,09	0,02	0,35	6,7	2,2	0,13
Gt II-II*	12	6,2	0,87	0,04	0,04	0,08	0,04	0,53	2,4	2,0	0,03
Gt III-III*-IV	11	4,8	0,77	0,06	0,13	0,05	0,16	0,71	0,46	0,77	0,10
Gt V-V*	11	5,0	1,0	0,13	0,11	0,06	0,21	0,81	0,18	0,81	0,08
Gt VI-VII-VIII	25	3,8	0,27	0,14	0,45	0,11	0,30	0,60	0,38	0,97	1,2
<i>Verklaarde Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		44	9	37	42	4	18	3	19	22	36
<i>idem, door LKN Gt-indeling</i>		46	10	30	46	7	17	4	12	14	39

#### *Basenrijkdom van het grondwater*

De indicatoren voor zure of verzuurde omstandigheden vertonen een duidelijk verloop met de klassen in basenrijkdom van het grondwater (tabel 73). De pH en de Ca-concentratie nemen toe met toenemende basenrijkdom, terwijl de Al-concentratie en de Al/Ca-ratio afnemen. Ook de NH<sub>4</sub>/K-ratio vertoont een eenduidige stijging met toenemende basenrijkdom, terwijl voor de afzonderlijke ionen van deze ratio niet een dergelijk verband gevonden is. De NO<sub>3</sub>-concentratie is het hoogst in fysiopen met ombrotroof grondwater (maar niet significant).

**Tabel 73** Mediane waarden van de pH en de belangrijkste ionconcentraties en -ratio's in het bodemvocht als functie van de basenstatus van het grondwater

Basenstatus van het grondwater	Aantal locaties	pH (-)	Concentraties (mol <sub>c</sub> .m <sup>-3</sup> )						Ratio's (mol.mol <sup>-1</sup> )		
			Ca	K	Al	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	$\frac{NH_4}{NO_3}$	$\frac{NH_4}{K}$	$\frac{Al}{Ca}$
Ombrotroef	42	4,0	0,32	0,11	0,32	0,08	0,24	0,61	0,37	1,0	0,65
Basenarm	11	5,7	0,90	0,04	0,07	0,06	0,10	0,71	1,0	1,7	0,06
Basenrijk	10	6,4	1,2	0,05	0,03	0,07	0,10	0,66	0,71	1,8	0,02
<i>Verklaarde Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		51	24	18	39	0	1	0	2	7	46

### Grondsoort

De hoogste waarden voor de pH zijn gevonden in de veengronden, wat overeenkomt met de resultaten voor het grondwater (tabel 74). De hoogste Ca-concentraties in het bodemvocht zijn echter aangetroffen in de kleigronden, terwijl deze in het grondwater juist het hoogste is onder de veengronden (tabel 58) en ook de basenverzadiging van de veengronden iets hoger is dan die van de kleigronden (tabel 45). Een ander verschil tussen de veen- en kleigronden zijn de hogere NO<sub>3</sub>- en SO<sub>4</sub>-concentraties in de kleigronden. Dit doet vermoeden dat binnen de kleigronden een groter aandeel bemeste locaties voorkomt (dit wordt bevestigd door de resultaten voor de verschillende vegetatietypen; tabel 75).

**Tabel 74** Mediane waarden van de pH en de belangrijkste ionconcentraties en -ratio's in het bodemvocht als functie van de grondsoort

Grondsoort	Aantal locaties	pH (-)	Concentraties (mol <sub>c</sub> .m <sup>-3</sup> )						Ratio's (mol.mol <sup>-1</sup> )		
			Ca	K	Al	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	$\frac{NH_4}{NO_3}$	$\frac{NH_4}{K}$	$\frac{Al}{Ca}$
Veen	15	6,1	0,87	0,04	0,04	0,08	0,03	0,47	2,4	2,0	0,03
Zand	44	4,0	0,44	0,11	0,34	0,08	0,25	0,64	0,37	1,0	0,67
Klei	4	5,3	1,6	0,07	0,07	0,07	0,17	1,1	0,40	0,81	0,02
<i>Verklaarde Variantie (% R<sup>2</sup><sub>adj</sub>)</i>		30	9	21	39	0	8	10	11	18	33
<i>idem, inclusief cultuurdek</i>		29	8	30	38	0	10	11	10	21	31

De zandgronden hebben de laagste waarden voor de pH en de Ca- en NO<sub>3</sub>-concentratie en de hoogste waarden voor de Al-concentratie en de Al/Ca-ratio (tabel 74). Dit bevestigt dat deze gronden het meest verzuurd zijn. Hierbij speelt vooral belasting met stikstof een rol. De hoogste SO<sub>4</sub>-concentraties zijn echter aangetroffen in de kleigronden (wat dus samen kan hangen met de bemesting).

De hoogste NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>- en NH<sub>4</sub>/K-ratio's zijn aangetroffen in de veengronden (tabel 74). Dit hangt enerzijds samen met de hoge denitrificatie, die bij de lage Gt's al genoemd is en verder met de lage K-concentraties in de meeste veengronden.

### Vegetatietype

De laagste waarden voor de pH van het bodemvocht in de bodemlagen zijn aangetroffen onder de naaldbossen en de jeneverbesstruwelen, gevolgd door de heide en de loofbossen (tabel 75). De maïsackers, die in principe op dezelfde fysiotopen voorkomen als de naaldbossen, hebben juist een hogere pH, vermoedelijk als gevolg van bemesting en bekalking. Dit blijkt ook uit de lagere Al-concentraties en de hoge concentraties van de overige ionen, vooral die van Ca, NO<sub>3</sub> en SO<sub>4</sub>. De NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>- en NH<sub>4</sub>/K-ratio's voor de maïslocaties zijn laag als gevolg van de hoge NO<sub>3</sub>- en K-concentraties.

De hoogste pH-waarden zijn aangetroffen onder de graslandlocaties (tabel 75). Afgezien van de hoge concentraties onder maïsland (effect van bemesting !), komen onder de graslanden ook de hoogste Ca-concentraties voor. Binnen de graslanden onderscheiden de bemeste graslanden zich van de extensief beheerde graslanden door hun hogere K, NO<sub>3</sub> en SO<sub>4</sub>-concentraties en de lagere NH<sub>4</sub>/K- en NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>-ratio's. Dit effect van bemesting komt nog duidelijker naar voren voor de resultaten voor de maïslocaties.

Tabel 75 Mediane waarden van de pH en de belangrijkste ionconcentraties en -ratio's in het bodemvocht als functie van het vegetatietype

Vegetatietype	Aantal waarden	pH (-)	Concentraties (mol <sub>c</sub> .m <sup>-3</sup> )						Ratio's (mol.mol <sup>-1</sup> )		
			Ca	K	Al	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	$\frac{NH_4}{NO_3}$	$\frac{NH_4}{K}$	$\frac{Al}{Ca}$
<b><u>Strooisellaag:</u></b>											
Donker naaldbos	3	3,7	0,33	0,22	0,14	0,71	0,76	0,67	1,2	2,9	0,23
Licht naaldbos	4	3,7	0,75	0,35	0,13	0,51	1,1	0,44	0,42	1,2	0,11
Loofbos	2	4,0	0,67	0,78	0,08	0,24	0,71	0,51	1,6	0,31	0,07
Heide	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jeneverbesheide	2	3,8	0,88	0,65	0,05	0,24	0,93	0,41	0,60	0,38	0,05
<b><u>Bodemlagen:</u></b>											
Donker naaldbos	8	3,6	0,38	0,17	0,97	0,24	0,74	1,3	0,36	1,9	2,0
Licht naaldbos	10	3,7	0,41	0,12	0,52	0,12	0,40	0,63	0,29	1,0	1,1
Loofbos	8	4,1	0,63	0,12	0,28	0,08	0,17	0,80	0,49	0,63	0,47
Heide	10	4,1	0,17	0,05	0,11	0,07	0,02	0,31	2,9	1,4	0,42
Jeneverbesheide	2	3,8	0,22	0,12	0,22	0,09	0,58	0,43	0,66	0,97	0,68
Ext. grasland 'C'	12	5,7	0,87	0,04	0,06	0,05	0,13	0,64	0,63	1,5	0,05
Ext. grasland 'G'	6	6,3	1,1	0,04	0,04	0,09	0,05	0,62	1,5	1,9	0,02
Int. grasland	5	5,5	1,1	0,10	0,08	0,08	0,21	0,73	0,31	0,81	0,04
Maïsland	2	4,8	3,2	0,46	0,08	0,11	4,6	1,2	0,03	0,20	0,02
Verklaarde Variantie (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )		62	56	47	44	17	53	38	4	18	44
idem, door Veg. structuurtype		56	52	39	25	14	41	41	7	18	25
plus 'natuur' vs. 'cultuur'		58	53	44	26	14	42	40	5	18	28

Binnen de bossen nemen de pH en de Ca-concentratie toe van donker naaldbos naar loofbos, terwijl de K-, Al, NH<sub>4</sub>- en NO<sub>3</sub>-concentraties en de NH<sub>4</sub>/K- en Al/Ca-ratio's afnemen in deze richting (tabel 75). De resultaten voor de pH en de Ca-concentratie komen goed overeen met de resultaten voor de complex-bezetting (tabel 47). De hoge SO<sub>4</sub>- en NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>-concentraties laten zien dat atmosferische belasting van vooral

de donkere naaldbossen in het bodemvocht duidelijk terug te vinden is. Mede hierdoor komt de Al/Ca-ratio vooral in dit type duidelijk boven de kritieke grens van 1.

Voor de meeste variabelen zijn de verschillen tussen de vegetatietypen in de strooisellaag vergelijkbaar met die in de bodemlagen, zij het vaak op een hoger of lager niveau (tabel 75). De waarden voor de pH zijn zelfs vrijwel identiek. De waarden voor de meeste concentraties zijn systematisch hoger in de strooisellaag, met uitzondering van de Al-concentratie. De Ca-concentratie onder jeneverbesstruweel en de K-concentratie onder jeneverbes en loofbos zijn echter in de strooisellaag veel hoger dan op grond van deze overeenkomst met de bovengrond verwacht zou kunnen worden.

## **5.4 Relatie met het fysiotoopmodel**

### **5.4.1 Statistische analyse**

De beste verklaring door het volledige fysiotoopmodel is gevonden voor de pH en voor de Al-concentraties en de Al/Ca-ratio (tabel 76). Sterk significante relaties, maar met een geringer percentage verklaarde variantie, zijn verder gevonden voor de K-concentratie en de  $\text{NH}_4/\text{K}$ -ratio. Al deze factoren hangen samen met de natuurlijke voedselrijkdom en de natuurlijke zuurgraad van de verschillende fysiotopen.

De toevoeging van het vegetatietype levert een zeer significante toename van de verklaarde variantie op de  $\text{NO}_3^-$ - en de  $\text{SO}_4^-$ -concentratie als 'nieuwe' elementen (tabel 76). Deze variabelen hangen duidelijk samen met de bemestingstoestand of de atmosferische depositie. Verder levert deze toevoeging ook voor de pH en de Ca-concentratie een zeer significante verbetering op, gevolgd door de Al- en de  $\text{NH}_4^-$ -concentratie en de Al/Ca-ratio. Het vegetatietype komt zelfs voor de meeste variabelen terug in het beste statistische model, voor de  $\text{NO}_3^-$ -concentratie zelfs als enige.

De Gt is de factor die het meest terugkomt als verklarende factor in het beste verklarende model (tabel 76). Dit hangt echter gedeeltelijk samen met een droogte-effect, omdat het beste model voor het niet weergegeven Cl-ion ook de Gt als beste verklarende factor heeft. Na de Gt is de basenrijkdom van het grondwater de belangrijkste factor. Deze is van belang voor de pH, voor de Ca-, Al- en  $\text{SO}_4^-$ -concentratie en voor de Al/Ca-ratio. Dit zijn de belangrijkste indicatoren van de zuurtoestand en eventuele verzuring. De grondsoort en het cultuurdek zijn slechts in enkele gevallen mede van belang. Het vegetatietype is geselecteerd voor alle variabelen, met uitzondering van de  $\text{NH}_4/\text{NO}_3^-$ -ratio.

De resultaten voor de afzonderlijke lagen 1 en 3 zijn over het algemeen vergelijkbaar met die voor de locatiegemiddelden (tabel 76 en 77). Voor de pH, de Al-concentratie en de Al/Ca-ratio zijn de resulterende modellen zelfs volledig identiek. Voor de K- en  $\text{NO}_3^-$ -concentratie geldt dit alleen voor de bovengrond en voor de Ca-concentratie alleen voor de ondergrond. Uit de geringe verschillen valt verder op dat in de bovengrond vooral de grondsoort minder van belang is dan voor de locatiegemiddelde

(voor de  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ -ratio juist meer) en dat in de ondergrond het vegetatietype en het cultuurdek minder van belang zijn.

*Tabel 76 Resultaten van de regressie-analyse voor de pH en de belangrijkste ionconcentraties en ratio's in het bodemvocht*

Geanalyseerde grootheid	Volledig fysiotoop		id. + vegetatietype		Beste statistische model		
	Vrkl.Var. (% $R^2_{\text{adj}}$ )	Significantie <sup>1)</sup>	Vrkl.Var. (% $R^2_{\text{adj}}$ )	Significantie <sup>1)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% $R^2_{\text{adj}}$ )	Significantie <sup>1)</sup>
pH	58	***	77	*** vvv	Bas + Gt + Veg	77	***
Ca	24	**	65	*** vvv	Grond + Veg + Gt	65	***
K	40	***	52	*** v	Gt + Dek + Veg	54	***
Al	53	***	65	*** vv	Gt + Bas + Veg	66	***
$\text{NH}_4$	1	-	17	* v	Grond + Veg	21	*
$\text{NO}_3$	14	*	57	*** vvv	Veg	53	***
$\text{SO}_4$	11	*	49	*** vvv	Grond + Dek + Veg + Bas	50	***
$\frac{\text{NH}_4}{\text{NO}_3}$	12	*	8	- -	Gt	19	***
$\frac{\text{NH}_4}{\text{K}}$	20	**	40	*** v	Grond + Veg + Gt	38	***
$\frac{\text{Al}}{\text{Ca}}$	54	***	68	*** vv	Bas + Gt + Veg	68	***

<sup>1)</sup> significantie: - =  $P \geq 0,1$ ; \* =  $P < 0,1$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$  (v: idem voor bijdrage vegetatietype)

*Tabel 77 Resultaten van de regressie-analyse voor de beide bodemlagen afzonderlijk voor de pH en de belangrijkste ionconcentraties en ratio's in het bodemvocht*

Geanalyseerde grootheid	Laag 1			Laag 3		
	Beste model	Vrkl.Var. (% $R^2_{\text{adj}}$ )	Significantie <sup>1)</sup>	Beste model	Vrkl.Var. (% $R^2_{\text{adj}}$ )	Significantie <sup>1)</sup>
pH	Bas + Gt + Veg	78	***	Gt + Veg	69	***
Ca	Bas + Veg	64	***	Veg + Gt + Grond	51	***
K	Gt + Dek + Veg	44	***	Gt + Veg	55	***
Al	Gt + Bas + Veg	65	***	Bas + Gt + Veg	54	***
$\text{NH}_4$	Veg	19	*	-	0	-
$\text{NO}_3$	Veg	53	***	Gt + Veg	48	***
$\text{SO}_4$	Veg + Dek	38	***	Grond + Dek + Veg	47	***
$\frac{\text{NH}_4}{\text{NO}_3}$	Grond	6	***	Gt	54	***
$\frac{\text{NH}_4}{\text{K}}$	Gt + Veg	35	***	Gt	25	***
$\frac{\text{Al}}{\text{Ca}}$	Bas + Gt + Veg	68	***	Bas + Gt + Veg	59	***

<sup>1)</sup> significantie: - =  $P \geq 0,1$ ; \* =  $P < 0,1$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ .

De inhoud van de geselecteerde modellen, en met name de grote betekenis van de Gt hierin, hangt mogelijk samen met verdunnings- en indikkingsprocessen als gevolg van hydrologische processen. Deze hangen naar verwachting vooral samen met de Gt en het vegetatietype. Om het belang van deze effecten te onderzoeken, is voor

de resultaten voor de afzonderlijke lagen ook een statistische analyse uitgevoerd van de ratio's van de verschillende ionen ten opzichte van de Cl-concentratie (tabel 78). De variatie in de Cl-concentratie blijkt in beide lagen het best verklaard te worden door het vegetatietype. Dit duidt erop dat het vegetatietype het belangrijkste is in eventuele verdunnings- of indikkingseffecten. De resultaten voor de relatieve concentraties verschillen echter nauwelijks van die voor de absolute concentraties en ook in de kleine veranderingen zit geen duidelijke systematiek (tabel 78). Dit duidt erop dat het effect van verdunning of indikking slechts een geringe invloed heeft op de resultaten.

*Tabel 78 Resultaten van de regressie-analyse voor de beide bodemlagen afzonderlijk voor de Cl-concentratie in het bodemvocht en de relatieve concentraties van de andere ionen t.o.v. Cl*

Geanalyseerde grootheid	Laag 1			Laag 3			
	Beste model	Vrkl.Var. (% $R^2_{adj}$ )	Signifi- cantie <sup>1)</sup>	Beste model	Vrkl.Var. (% $R^2_{adj}$ )	Signifi- cantie <sup>1)</sup>	
Cl-concentratie	Veg	33	***	Veg	49	***	
Relatieve concentratie t.o.v. Cl	H	Veg	40	***	Dek + Veg	43	***
	Ca	Basen + Veg	62	***	Bas + Veg	63	***
	K	Dek + Veg + Gt	49	***	Gt + Dek + Veg	39	***
	Al	Gt + Basen + Veg	45	***	Bas + Gt + Veg + Dek	55	***
	NH <sub>4</sub>	-	0	-	Grond	6	*
	NO <sub>3</sub>	Veg	39	***	Gt + Dek	22	**
	SO <sub>4</sub>	Veg	21	**	Bas + Dek	35	***

<sup>1)</sup> significantie: - =  $P \geq 0,1$ ; \* =  $P < 0,1$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ .

Naast de gevonden verschillen in het beste verklarende model voor de afzonderlijke lagen 1 en 3 (tabel 77), zijn er interacties tussen de indelingscriteria en het diepte-effect (tabel 79). Het 'kale' diepte-effect is alleen voor de pH significant en mogelijk ook voor de K-concentratie. Voor de pH hangt dit effect mede samen met verschillende patronen bij verschillende grondsoorten en voor de K-concentratie met verschillen tussen de vegetatietypen. Voor de Ca- en NH<sub>4</sub>-concentratie kunnen in het geheel geen verbanden met de diepte aangetoond worden, en voor de NH<sub>4</sub>/K-ratio alleen wanneer de interactie met het vegetatietype toegevoegd wordt. Het verloop met de diepte van de NO<sub>3</sub>-concentratie wordt sterk beïnvloed door de Gt, wat waarschijnlijk samenhangt met de mate van nitrificatie en denitrificatie. Het verloop in de Al/Ca-ratio, tenslotte, hangt als enige samen met een combinatie van factoren.

**Tabel 79 Resultaten van de regressie-analyse voor het diepte-effect en de diepte-interacties voor de pH en de belangrijkste ionconcentraties en -ratio's in het bodemvocht**

Geanalyseerde grootheid	Laageffect		Laageffect + laaginteracties (beste model)	
	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>1)</sup>	Model	Vrkl.Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> ) Signifi- cantie
pH	23	***	Lg + Lg.Grond	28 ***
Ca	0	-	-	0 -
K	11	**	Lg + Lg.Veg	34 ***
Al	6	**	Lg + Lg.Grond	12 **
NH <sub>4</sub>	0	-	-	0 -
NO <sub>3</sub>	7	**	Lg + Lg.Gt	14 ***
SO <sub>4</sub>	3	*	Lg + Lg.Dek	10 **
$\frac{NH_4}{NO_3}$	5	*	Lg + Lg.Bas	16 ***
$\frac{NH_4}{K}$	4	-	Lg + Lg.Veg	21 ***
$\frac{Al}{Ca}$	3	*	Lg + Lg.(Grond+Veg+Gt)	40 ***

<sup>1)</sup> significantie: - = P ≥ 0,1; \* = P < 0,1; \*\* = P < 0,01; \*\*\* = P < 0,001.

## 5.4.2 Voorspelde waarden per fysiotoop

Voor drie variabelen is het resultaat van de statistische analyse vertaald in voorspelde waarden voor de afzonderlijke fysiotoopen. Voor de pH in het bodemvocht is gekozen voor de presentatie van de waarden voor alle afzonderlijke lagen binnen ieder fysiotoop (tabel 80), omdat voor deze variabele een duidelijk verloop met de diepte is gevonden, dat bovendien samenhangt met enkele van de indelingscriteria (tabel 79). Verder is het fysiotoopmodel ook ingevuld met de Ca-concentratie en de NH<sub>4</sub>/K-ratio in het bodemvocht (tabel 81). Voor deze variabelen zijn echter geen waarden voor de afzonderlijke lagen gepresenteerd.

De pH en de Ca-concentratie nemen duidelijk toe van ombrotrofe naar meer basenrijke fysiotooptypen (tabel 80 en 81). Beide nemen af met toenemende Gt. Binnen de ombrotrofe en basenarme fysiotooptypen hebben de veenfysiotoopen een iets hogere pH en een duidelijk lagere Ca-concentratie. Binnen de basenrijke fysiotooptypen hebben de kleifysiotoopen een veel lagere pH dan de veenfysiotoopen, maar wel weer een hogere Ca-concentratie. Dit is tegenovergesteld aan de resultaten voor het grondwater (tabel 64). De pH in de strooisellaag is voor de veengronden hoger dan in de bovengrond. Voor de zandgronden is de pH in de strooisellaag lager dan in de bovengrond bij natte Gt's en hoger bij droge Gt's.

De NH<sub>4</sub>/K-ratio neemt nauwelijks toe met toenemende basenklasse (tabel 81). Duidelijker zijn echter de duidelijk hogere waarden voor de veengronden ten opzichte van de zand- en kleigronden, evenals de afname met toenemende Gt. Deze patronen hangen samen met de tegengestelde patronen voor de NH<sub>4</sub>- en K-concentraties, die elkaar versterken in deze ratio.



**Tabel 80 Schatting van de pH van het bodemvocht onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van het fysiotoop en laag op basis van de uitkomsten van het regressiemodel <sup>1)</sup>**

Grondwater-trap	Laag	Basenstatus grondwater / Grondsoort						
		Ombrotroof			Basenarm		Basenrijk <sup>2)</sup>	
		Veen	Zand	-/+ cultuurdek	Veen	Zand	Veen	Klei
I	Strooisel	4,9	4,6		5,6	5,3	-	-
	Laag 1	4,7	4,8		5,4	5,4	6,4	5,6
	Laag 3	5,0	4,9		5,8	5,7	6,7	6,4
II-II*	Strooisel	4,8	4,5		5,5	5,3	-	-
	Laag 1	4,6	4,7		5,2	5,3	6,3	5,5
	Laag 3	4,9	4,8		5,7	5,6	6,6	6,3
III-III*-IV	Strooisel	4,7	4,4		5,4	5,1	-	-
	Laag 1	4,4	4,5		5,0	5,1	6,1	5,2
	Laag 3	4,7	4,6		5,5	5,4	6,4	6,3
V-V*	Strooisel	4,5	4,2	4,3	5,2	4,9	-	-
	Laag 1	4,1	4,1	4,1	4,7	4,8	5,8	4,9
	Laag 3	4,4	4,3	4,3	5,2	5,1	6,1	5,8
VI-VII-VIII	Strooisel	4,2	3,9	4,0	4,9	4,7	-	-
	Laag 1	3,6	3,7	3,6	4,3	4,3	5,3	4,5
	Laag 3	4,0	4,0	3,9	4,9	4,8	5,7	5,4

<sup>1)</sup> Cursieve waarden: 'onwaarschijnlijke' of 'instabiele' fysiotoepen: minerale bodems met Gt I en organische gronden met Gt ≥ V

<sup>2)</sup> Geen schattingen voor de strooisellaag omdat onder basenrijke omstandigheden doorgaans geen strooisellaag aanwezig is.

**Tabel 81 Schatting van de Ca-concentratie en de NH<sub>4</sub>/K-ratio in het bodemvocht onder de weinig belaste vegetatietypen als functie van het fysiotoop op basis van de uitkomsten van het regressiemodel <sup>1)</sup>**

Voorspelde variabele	Grondwater-trap	Basenstatus grondwater / Grondsoort						
		Ombrotroof			Basenarm		Basenrijk	
		Veen	Zand	-/+ cultuurdek	Veen	Zand	Veen	Klei
Ca-concentratie (mol <sub>c</sub> .m <sup>-3</sup> )	I	0,38	0,69		0,75	1,4	1,3	2,7
	II-II*	0,29	0,52		0,56	1,0	0,95	2,0
	III-III*-IV	0,25	0,46		0,50	0,90	0,84	1,8
	V-V*	0,22	0,40	0,53	0,44	0,79	0,74	1,6
	VI-VII-VIII	0,17	0,30	0,40	0,33	0,59	0,55	1,2
NH <sub>4</sub> /K-ratio (mol.mol <sup>-1</sup> )	I	2,2	1,5		2,5	1,7	2,6	1,5
	II-II*	1,7	1,1		2,0	1,3	2,0	1,2
	III-III*-IV	1,4	0,94		1,6	1,1	1,7	0,98
	V-V*	1,3	0,83	0,42	1,4	0,95	1,5	0,86
	VI-VII-VIII	1,2	0,78	0,40	1,3	0,90	1,4	0,81

<sup>1)</sup> Cursieve waarden: 'onwaarschijnlijke' of 'instabiele' fysiotoepen: minerale bodems met Gt I en organische gronden met Gt ≥ V

## 5.4 Correlatie met grondwatersamenstelling

In aanvulling op de correlatieve studie van de samenstelling van de bodemoplossing, is een analyse uitgevoerd van de correlatie van de samenstelling van de bodemoplossing met die van het grondwater (op dezelfde locatie). Deze analyse is aangevuld met een statistische analyse van de verschillen tussen de bodemoplossing en het grondwater in relatie tot de verschillende milieufactoren. Dit is gedaan met de gegevens voor de bodemoplossing in de afzonderlijke lagen en voor de locatie-gemiddelde waarden (de gemiddelden van de waarden voor laag 1 en laag 3). Het aantal beschikbare waarnemingen werd beperkt door het aantal locaties waar het grondwater bemonsterd was en ver de strooisellaag ook door het aantal locaties waar deze laag bemonsterd was.

De correlatie van de waarden tussen de resultaten voor laag 3 met die voor het grondwater is consequent hoger dan die voor laag 1 (tabel 82). Dit verschil is zeer waarschijnlijk gerelateerd met de grotere afstand tussen het grondwater en de bodemoplossing voor laag 1 en met de veranderingen in de bodemvochtsamenstelling die optreden tussen laag 1 en laag 3. Verwacht zou kunnen worden dat de correlatie tussen de samenstelling van het vocht in de strooisellaag met die van het grondwater nog geringer zou zijn dan die voor laag 1. Dat dit voor enkele elementen niet het geval is (namelijk de  $\text{NO}_3^-$ - en  $\text{SO}_4^-$ -concentraties), hangt vermoedelijk samen met de homogener samenstelling van de dataset waarin het vocht van de strooisellaag bemonsterd kon worden (namelijk de bossen op ombrotrofe zandfysiotoepen). De waarden voor de correlatie tussen de locatiegemiddelde bodemvochtsamenstelling en de grondwatersamenstelling liggen - volgens verwachting - over het algemeen tussen die voor laag 1 en 3 in.

De hoogste correlatie tussen de samenstelling van het grondwater en het bodemvocht zijn gevonden voor de pH, de Ca-concentratie en de Al/Ca-ratio (tabel 82). Voor laag 3 zijn bovendien hoge correlaties gevonden voor de  $\text{NO}_3^-$ - en  $\text{SO}_4^-$ -concentratie. Geen enkele correlatie of slechts een zeer geringe correlatie is gevonden voor de  $\text{NH}_4^-$ -concentratie en de  $\text{NH}_4^-$ -concentraties, en in mindere mate ook voor de  $\text{NH}_4^-/\text{NO}_3^-$ - en  $\text{NH}_4^-/\text{K}$ -ratio's. De oorzaak hiervan is vermoedelijk de sterke mate van omzetting van  $\text{NH}_4^-$  en het grote aantal zeer lage  $\text{NH}_4^-$ -concentraties in de bodemoplossing en vooral in het grondwater.

*Tabel 82 Correlatie tussen de chemische samenstelling van het grondwater met de chemische samenstelling van het bodemvocht in de verschillende lagen*

Laag	pH	Concentraties						Ratio's		
		Ca	K	Al	$\text{NH}_4^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^-$	$\frac{\text{NH}_4^-}{\text{NO}_3^-}$	$\frac{\text{NH}_4^-}{\text{K}}$	$\frac{\text{Al}}{\text{Ca}}$
Strooisellaag	0,66	0,66	0,54	0,48	0,02	0,31	0,34	0,27	-0,01	0,63
Laag 1	0,70	0,76	0,42	0,56	0,02	0,59	0,24	0,17	0,14	0,69
Laag 2	0,83	0,80	0,54	0,64	0,28	0,71	0,70	0,48	0,37	0,74
Locatiegemiddelde	0,78	0,80	0,53	0,59	0,06	0,64	0,48	0,24	0,23	0,69

De mate waarin de verschillende milieufactoren kunnen bijdragen in de verklaring van de verschillen tussen de bodemvochtconcentratie en de grondwaterconcentratie is omgekeerd evenredig met de correlatie tussen deze twee variabelen. Het model geeft geen enkele verklaring voor de verschillen in Al- en NO<sub>3</sub>-concentratie in de ondergrond en de SO<sub>4</sub>-concentratie in beide lagen (tabel 83). De belangrijkste predictor voor de verschillen is de Gt. Dit hangt vermoedelijk samen met de correlatie tussen de Gt en de afstand tussen de bodemvocht en het grondwater. Verder heeft de Gt invloed op de diepte waarop processen een rol gaan spelen die samenhangen met wateroverlast. Het effect van de klasse in de basenrijkdom van het grondwater hangt samen met de bijdrage die percolerend bodemvocht bijdraagt aan het grondwater. Deze is op locaties met inzijging groter dan op locaties met kwel. Op deze laatste locaties speelt eerder het omgekeerde, bijdrage van het grondwater aan het bodemvocht, een rol.

In de bovengrond zijn de Gt en het vegetatietype relatief voor meer elementen van belang voor het verschil met het grondwater dan in de ondergrond (tabel 83). De genoemde Gt-effecten zijn in de bovengrond vermoedelijk sterker dan in de ondergrond. De invloed van het vegetatietype op de chemische samenstelling neemt vermoedelijk af in de richting laag 1 > laag 3 > Grondwater. De verschillen tussen de gegevens voor de lagen en het grondwater hangen voor laag 1 daarom sterker samen met het vegetatietype.

*Tabel 83 Resultaten van de regressie-analyse op de verschillen tussen de samenstelling van het grondwater en het bodemvocht*

Geanalyseerde grootheid	Laag 1			Laag 3		
	Beste model	Vrkl. Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>1)</sup>	Beste model	Vrkl. Var. (% R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> )	Signifi- cantie <sup>1)</sup>
pH	Gt + Grond	23	**	Gt	45	***
Ca	Bas	41	***	Bas + Grond	38	***
K	Grond	6	*	Grond + Veg + Gt	55	***
Al	Bas + Gt	13	*	-	0	-
NH <sub>4</sub>	Gt	35	***	Gt	41	***
NO <sub>3</sub>	Bas	26	***	-	0	-
SO <sub>4</sub>	-	0	-	-	0	-
$\frac{NH_4}{NO_3}$	Gt + Grond	49	***	Gt	38	***
$\frac{NH_4}{K}$	Gt + Grond	42	***	Gt	32	***
$\frac{Al}{Ca}$	Bas	13	*	Veg	43	**

<sup>1)</sup> significantie: - = P≥0,1; \* = P<0,1; \*\* = P<0,01; \*\*\* = P<0,001.

## 5.5 Conclusies

De volgende conclusies kunnen getrokken worden met betrekking tot de chemische samenstelling van het bodemvocht:

1. De gevonden waarden voor de pH, het EGV en de ionconcentraties vertonen alle een ruime spreiding, met een scheve verdeling met veel relatief lage waarden en veel minder hogere waarden.
2. Het fysiotoopmodel geeft een redelijke tot goede verklaring voor de gevonden spreiding in ongeveer de helft van de belangrijke bodemvochtvariabelen: de pH, de concentraties van Ca, K en Al en de ratio's Al/Ca en NH<sub>4</sub>/K.
3. Het vegetatietype is een belangrijke onderscheidende (additionele) factor voor veel bodemvochtvariabelen: de pH, de concentraties van Ca, NO<sub>3</sub> en SO<sub>4</sub> en de Al/Ca-ratio. De relatie met het vegetatietype is in de bovengrond groter dan in de ondergrond.
4. De selectie van een 'beste model' resulteert meestal in de selectie van enkele - meestal 3- verklarende factoren, waaronder meestal ook het vegetatietype.
5. De pH, de Ca-concentratie en de Al/Ca-ratio vertonen het sterkste verloop met de basenrijkdom van het grondwater: de eerste twee nemen toe en de laatste af met toenemende basenrijkdom van het grondwater.
6. De variatie in NO<sub>3</sub>-concentratie is vooral gerelateerd aan het vegetatietype.
7. De variatie in de NH<sub>4</sub>-concentratie en de NH<sub>4</sub>/K-ratio zijn met name gerelateerd aan de grondwatertrap.
8. De correlatie tussen de concentraties in het bodemvocht en die in het grondwater neemt over het algemeen toe met de diepte, als gevolg van de kortere afstand tot het grondwater.
9. Het gebrek aan correlatie tussen de concentratie in bodemvocht en grondwater kan meestal goed verklaard worden door de milieufactoren uit het fysiotoopmodel.

## 6 Discussie

Naast de discussie die mogelijk is bij de resultaten van de afzonderlijke compartimenten (vaste fase, grondwater en bodemvocht, zijn er enkele aspecten die van toepassing zijn op alle drie compartimenten, namelijk:

- de beperkingen van de proefopzet,
- de beperkingen van de gebruikte statistische methoden,
- het ontbreken van waarnemingen voor bodemprofielen die uit meer dan één grondsoort opgebouwd zijn, en
- een integrale evaluatie van de mogelijkheden, beperkingen en mogelijke aanpassingen van het fysiotoopmodel.

Deze aspecten komen in dit hoofdstuk en in deze volgorde aan de orde.

### 6.1 Proefopzet

De belangrijkste beperkingen van de gekozen proefopzet zijn (i) het beperkte aantal locaties, (ii) de ongebalanceerde verdeling van de locaties over de verschillende indelingscriteria en (iii) de verschillende laagindelingen.

#### *Aantal locaties*

Het aantal locaties (63 voor de meeste variabelen) is theoretisch gezien te klein om het fysiotoopmodel met de verschillende indelingscriteria met elk een aantal klassen op een verantwoorde wijze te toetsen. Alleen wanneer slechts één of twee criteria gebruikt worden, wordt aan de vuistregel voor voldoende waarnemingen voldaan. Deze vuistregel (Oude Voshaar, 1990) stelt, dat het aantal vrijheidsgraden benodigd voor het verklarende model maximaal een kwart is van het aantal waarnemingen. In het geval van 63 waarnemingen mag het statistische model dus maximaal 15 vrijheidsgraden 'consumeren'. Dit betekent, dat het vegetatietype niet meer toegevoegd kan worden als verklarende factor, wanneer alle abiotische predictors al in het model opgenomen zijn. Dit is in een aantal analyses wel gebeurd, zelfs bij een geringer aantal waarnemingen dan 63.

Het geringe aantal waarnemingen is ook de belangrijkste reden voor het niet opnemen van interactietermen tussen de verschillende predictorvariabelen (zie ook Par. 6.2).

#### *Ongebalanceerde verdeling*

Het geringe aantal waarnemingen in relatie tot het grote aantal mogelijk combinaties, is mede de oorzaak van de ongebalanceerde verdeling over de diverse klasseindelingen. Deze probleem zijn de keerzijde van de keuze om een zo breed mogelijke variatie in abiotische kenmerken en vegetatietypen te selecteren. Het aantal mogelijke combinaties is veel groter dan het aantal geselecteerde locaties (alhoewel een deel daarvan uit theoretisch of praktisch opzicht ook zelden aangetroffen zou kunnen worden). Veel combinaties komen slechts één of enkele malen voor, en diverse combinaties zijn in het geheel niet geselecteerd. Voor een enigszins betrouwbare

statistische analyse is het noodzakelijk dat van alle theoretisch mogelijke combinaties minimaal enkele waarden beschikbaar zijn.

Verder zijn de verdelingen van de verschillende klasse-indelingen niet gelijkmatig over elkaar verdeeld. Veengronden komen bijvoorbeeld niet of nauwelijks bij de drogere Gt-klassen voor en de bossen zijn sterk geconcentreerd op de droge zandgronden. Een betrouwbare schatting van variabelen buiten de combinaties die daadwerkelijk aangetroffen zijn, wordt hierdoor aanzienlijk beperkt. Dit geldt dus ook voor de verschillende tabellen met voorspelde waarden voor alle afzonderlijke fysiotooptypen.

### ***Laagindeling***

In de bemonstering zijn twee laagindelingen gehanteerd, één voor de korte vegetatietypen en één voor de opgaande typen. De toegevoegde locaties hebben weer een andere indeling. De reden voor de verschillende laagindelingen voor de nieuw bemonsterde locaties was enerzijds logistiek (de hoeveelheid veldwerk en de verwerkingscapaciteit van monsters) en anderzijds proces-georiënteerd (de positie ten opzichte van de wortelzone). In paragraaf 2.2.1 is reeds verklaard hoe met deze verschillen omgegaan is.

De verschillen in laagindeling leggen echter ook belangrijke beperkingen op aan de bruikbaarheid van de beschikbare gegevens. De verschillen in indeling zijn van belang voor de verschillen in korte en opgaande vegetatietypen, maar hebben op zich zelf geen betekenis voor de andere beschouwde indelingscriteria. Het meest gecompliceerd is dit voor de vaste fase, waarbij de beide lagen voor de korte vegetaties samenvallen met de bovenste laag voor de opgaande vegetatie. Voor het bodemvocht is sprake van een bovengrond en een ondergrond, waarvan alleen de diepte verschilt, maar waarvan een laag bij het ene vegetatietype geen overlap vertoont met een laag van een andere code voor een ander vegetatietype.

Bij de (statistische) analyse van de gegevens die verkregen zijn met de gekozen opzet is de laagindeling verstrengeld met het vegetatietype: sommige lagen komen alleen bij bepaalde vegetatietypen voor. In het geval van de bodemvochtresultaten is gemakshalve verondersteld dat de dikte en diepte van de bemonsterde laag ondergeschikt is aan de proces-georiënteerde indeling in 'bovenkant wortelzone' en 'onder-de-wortelzone'. Waarschijnlijk is dit een te sterke vereenvoudiging, omdat de diepte wel degelijk een rol speelt, met name in relatie tot de diepte van het grondwater (zoals uitgedrukt in de Gt-klasse-indeling).

Voor de vaste fase vallen de lagen 1 en 2 voor de korte vegetaties samen met de laag 1 voor de opgaande vegetaties. Bij de diepte-georiënteerde analyse wordt het patroon binnen de eerste 30 cm volledig bepaald door de groeiplaatsen onder de korte vegetaties, terwijl het verloop tussen de lagen 0-30 cm en 30-60 cm volledig bepaald wordt door de groeiplaatsen onder opgaande vegetaties. Deze verschillen tussen de behandeling van locaties onder korte en opgaande vegetaties zou op zich geen probleem op hoeven leveren, ware het niet, dat de vegetatietypen ongelijk over de verschillende abiotische klasse-indelingen verdeeld zijn. Ook is niet duidelijk of de extrapolatie van de diepte-relaties over de grens tussen korte en opgaande vegetatietypen zonder meer mogelijk is.

Achteraf bezien was het wellicht beter geweest om dezelfde laagindeling te hanteren voor alle vegetatietypen, of om een opzet te hanteren waarbij ook de nu onbekend gebleven relaties ingebouwd zijn. Hier geldt zich echter weer de beperking van het beperkte aantal locaties. Een mogelijke oplossing zou zijn, om een representatieve subset van locaties te selecteren (opgaande én korte vegetaties), waar de meest gedetailleerde laagindeling toegepast wordt, die alle laagindelingen omvat. Dit zou een laagindeling in vier lagen betekenen: 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm en 60-100 cm (alleen bodemvocht), onder alle representatieve locaties.

## **6.2 Statistische methoden**

De statistische analyses zijn uitgevoerd met behulp eenvoudige lineaire regressietechnieken (eventueel na een transformatie van de responsvariabele). Omwille van de overzichtelijkheid en de hoeveelheid beschikbare gegevens (locaties), zijn een sterk vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid en een eenvoudig statistisch model als uitgangspunt voor de analyse gebruikt. Enkele nadelen hiervan en de mogelijkheden voor verdere analyse van de gegevens komen hier aan de orde.

### ***Interacties***

Zoals in de voorgaande paragraaf al genoemd, zijn eventuele interacties tussen abiotische predictoren en tussen deze predictoren en het vegetatietype genegeerd, omdat het aantal waarnemingen onvoldoende was om deze betrouwbaar te kunnen schatten. Waar mogelijk zijn interacties met de diepte (= het laagnummer) wél opgenomen. Dit is echter alleen gebeurd bij de analyse van de patronen met de diepte.

Vanuit theoretisch opzicht zou het echter zinvol zijn geweest om enkele interacties op te nemen. Voor de grondwatervariabelen is dat de interactie tussen grondsoort en Gt. De samenstelling van het grondwater hangt samen met de Gt die de mate van beïnvloeding door input van boven typeert. Hoe deze invloed werkt, hangt zowel samen met de afstand als met het materiaal tussen het maaiveld en de grondwaterspiegel. Analooq hieraan, geldt voor de vaste-fase- en bodemvochtvariabelen dat het effect van de basenklasse (van het grondwater) samenhangt met de afstand tot het grondwater (de Gt).

### ***Tussen-plot- en binnen-plotvariatie***

De analyse van locatiegemiddelde waarden (of locatierepresentatieve waarden) en de analyse van de variatie binnen de locaties als functie van de diepte (=laag) zijn afzonderlijk uitgevoerd. Technisch is het echter zeer wel mogelijk om de analyse van beide niveaus gelijktijdig uit voeren. Het ene niveau is daarin het locatiestratum en het tweede zijn de lagen binnen de locaties (die binnen een locatie van elkaar afhankelijk zijn). Hierbij kan gedacht worden aan gesofisticeerde ANOVA-technieken (ANalysis Of VAriance) of aan REML (voor ongebalanceerde klasse-indelingen), die dan geadapteerd moeten zijn aan de verschillende, gedeeltelijk overlappende laagindelingen.

### ***Nominale vs. ordinale klassen in predictoren***

De statistische analyse is aanvankelijk geheel uitgevoerd zonder vooropgelegde kennis over de predictorvariabelen. Voor de predictorvariabelen die in klassen ingedeeld (= alle predictoren) zijn, was aanvankelijk dus geen logische of oorzakelijke ordening aangenomen. In statische termen betekent dat een nominale klasse-indeling aangenomen is, en geen ordinale. Voor de Gt en de basenklassen is dit echter een sterke vereenvoudiging ten opzichte van de meer geëigende ordinale indeling, die wel rekening houdt met de volgorde van de klassen. De inbreng van een ordinale predictor vereist echter een nogal afwijkende statistische analyse, en is daarom niet uitgevoerd.

Een eerste analyse van de gegevens, gebruik makend van de nominale klasse-indeling voor de Gt en de basenklassen, toonde aan dat hiermee het effect van de Gt slecht gescheiden kan worden van dat van de basenklassen en de grondsoort. Zo was Gt II sterk gecorreleerd met basenrijk en Gt I en VI-VIII met ombrotroef. Om dit effect te elimineren is alsnog de klasse-indeling voor de Gt gekwantificeerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de het klassennummer. De GHG of de GLG zouden even goede alternatieven geweest zijn, maar de nauwkeurigheid hiervan was niet beter dan de klassennummers. Verschillende varianten van monotoon stijgende of dalende functie zijn getest. Naast een lineair verband met de het nummer van de Gt-klasse zijn vier niet-lineaire verbanden getest, waarbij het traject met de sterkste verandering varieerde: aan het begin, aan het eind, aan beide einden of in het midden. De selectie van het meest passende verband is automatisch uitgevoerd, voor iedere afzonderlijke responsvariabele opnieuw.

Een monotoon stijgend of dalend verband met de Gt is de beste manier om recht te doen aan de Gt als maat voor de *waterkwantiteit*. De duidelijkere scheiding met de basenklasse bewerkstelligt bovendien de scheiding tussen het effect van *waterkwantiteit* en dat van *waterkwaliteit*. Bijkomend voordeel was, dat voor de meeste variabelen de kwantificering van de Gt ook resulteerde in een scherpere logischer scheiding tussen de basenklassen. De volgorde daarvan werd vrijwel altijd zoals verwacht of werd nog iets scherper. Vooral de relatief moeilijk te onderscheiden klassen 'basenarm' en 'basenrijk' konden beter gescheiden worden. Hierdoor was een kwantificering of het inbrengen van een opgelegde ordening van deze klassen niet meer nodig.

### ***Single response vs. multiple response analyse***

De meeste statistische analyses zijn uitgevoerd op afzonderlijke responsevariabelen (*single response analyse*). Voor de toetsing van het fysiotoopmodel zou het echter nuttig zijn om verschillende relevant responsvariabelen tegelijk te analyseren. Een voorbeeld hiervan is de bewerking (per monster) van de resultaten door MAION, dat de resultaten voor verschillende elementen combineert. Voor de vaste fase en het bodemvocht kan hierbij gedacht worden aan statistische technieken die leiden tot een ordinatiediagram of een clustering van locaties met vergelijkbare kenmerken. Dergelijke technieken kunnen, sterker nog dan MAION, helpen bij de validatie van het fysiotoopmodel. Wanneer een dergelijke bewerking uitgevoerd zou worden met een relevante selectie van bodemchemische variabelen, gecombineerd met een aantal additionele relevante groeiplaatskenmerken (zoals vochtvoorziening), zou dit een



zinnvolle aanzet betekenen voor een ecologische bodem- of groeiplaatsclassificatie voor natuurdoelstellingen of natuurontwikkeling.

### ***Gelaagdheid en diepterelaties***

In de statistische analyse is, zoals in het fysiotoopmodel, per locatie één ‘waarde’ aangehouden (toegekend) voor de verschillende abiotische milieukeurmerken die geldt voor alle lagen. Een profiel kan echter van zichzelf gelaagd zijn, waardoor niet alle lagen aan deze *overall* typering voldoen. Het sterkst geldt dat voor profielen die opgebouwd zijn uit verschillende grondsoorten. Verder verschilt de afstand tot het grondwater ook binnen het profiel, waardoor met name de toegekende Gt-klasse een verschillende betekenis heeft voor de verschillende lagen. Deze aspecten komen in Par. 6.3 en 6.4 uitgebreider aan de orde, met een praktische uitwerking van het optreden van gelaagdheid in grondsoort.

## **6.3 Fysiotoopmodel**

In deze paragraaf wordt het fysiotoopmodel geëvalueerd en komen mogelijke aanpassingen ten behoeve van de toepassing in de chemische karakterisering van bodem en grondwater aan de orde. Verschillende aspecten met betrekking tot de bruikbaarheid van het fysiotoopmodel zijn reeds in de discussieparagrafen van de afzonderlijke compartimenten aan de orde gekomen, of in de paragrafen hiervoor. Deze en meer algemene aspecten komen hier kort aan de orde, aangevuld met mogelijkheden om het fysiotoopensysteem meer bruikbaar te maken voor dit soort gevallen.

### ***Voorkomen van fysiotooptypen***

Belangrijke beperking van het fysiotoopmodel in relatie tot de statistische analyse, is, dat de fysiotooptypen ongelijk verdeeld voorkomen en dat verschillende combinaties van fysiografische parameters in het geheel niet voorkomen. Zo komen de kleigronden uitsluiten bij de basenklasse ‘basenrijk’ voor en de zandgronden juist niet in deze klasse. Dit probleem hangt enerzijds samen met het niet voorkomen van bepaalde combinaties, die elders wel bestaan, gedeeltelijk ook met de gehanteerde indelingscriteria. Tot de basenrijke zandgronden zouden bijvoorbeeld kalkrijke zandige sedimenten met een basenrijk grondwater gerekend kunnen worden. Deze gronden komen echter in het gebied niet voor.

### ***Plaatsing van kleigronden***

De volledige clustering van de kleigronden bij de basenrijke fysiotooptypen berust in de eerste plaats op de mineralogische eigenschappen van de klei en de invloed daarvan op de grondwaterkwaliteit, en niet op basis van de grondwaterkwaliteit die een gevolg is van regionale grondwaterstromen. Vanuit het perspectief dat de kwaliteit van het grondwater die samenhangt met het regionale grondwatersysteem, is deze indeling niet consequent. De geselecteerde kleilocaties bestaan immers uit potklei en liggen in locaties met infiltratie of hooguit een lokale kwelinvloed. Vanuit deze optiek zou het grondwater onder deze locaties resp. als ombrotroef en basenarm geklassificeerd moeten worden en niet als basenrijk. De kleilocaties die wel voor de classificatie basenrijk in aanmerking zouden komen zijn de benedenstroomse over-

stromingsgronden met een kleipakket (op veen). Locaties in deze fysiotooptypen zijn echter niet geselecteerd. De huidige vier kleilocaties zouden als alle als basenarm geklassificeerd kunnen worden, omdat ze op de beekdalflank of in lokale depressies liggen. De niet-geselecteerde keileemgronden op het plateau (de Hondsrug) zouden dan als ombrotroof geklassificeerd kunnen worden. Deze gewijzigde invulling is getest op een beperkt aantal variabelen, en resulteert in een iets grotere invloed van de grondsoort op de basenstatus van het grondwater. Verder ontstaat er een duidelijke opeenvolging in basenrijkdom van zand - veen - klei, terwijl nu nog veen over het algemeen als basenrijker getypeerd wordt dan klei (en zand). Een aanpassing in deze zin lijkt het overwegen waard.

Eén van de geselecteerde zandlocaties heeft een ondergrond van keileem, waarin het grondwater is aangetroffen. Op basis van andere indelingscriteria (zie hieronder) zou het grondwater van deze locatie als ombrotroof+klei getypeerd worden. Samen met informatie van de beek begeleidende kleigronden, zou hiermee het hele spectrum voor de kleigronden gedekt zijn.

#### ***Plaatsing en analyse gelaagde profielen***

Zoals hierboven genoemd is de toekenning van een fysiotooptype aan een locatie met een gelaagd profiel arbitrair. De gekozen indeling is gebaseerd op het meest karakteristieke materiaal in het belangrijkste deel van de wortelzone. Dit is een praktische benadering vanuit het perspectief van een eenduidige relatie met de vegetatie en de mogelijkheden om tot een kaartbeeld te komen. Voor de statistische verwerking is de toekenning van een enkele grondsoort (in de vorm van de fysiotooptype) voor het gehele profiel niet strikt noodzakelijk en waarschijnlijk zelfs beperkend in de mogelijkheden tot verwerking.

De huidige proefopzet is beperkt tot locaties met een uniform profiel wat betreft grondsoort. Er komen echter veel profielen voor die gelaagd zijn, maar deze zijn niet geselecteerd. In het geval deze wel geselecteerd zouden zijn, of wanneer een meer gedetailleerde studie gedaan zou worden naar het effect van verschillende grondsoorten binnen een profiel, zou bij de statistische analyse de grondsoort niet op het plotniveau moeten variëren (dat is: in het twee-dimensionale vlak) maar op het plot x laag- of plot x diepte-niveau (de driedimensionale ruimte). Het hoofdeffect van de grondsoort kan dan ook binnen de locaties geschat worden.

Binnen de statistische analyse kan ook de Gt als variabele ingebracht worden die binnen de locaties varieert, namelijk als de positie van ten opzicht van het grondwater. Aangezien in het fysiotoopmodel de GHG als leidraad geldt, zou hier de afstand van (het midden van) de laag tot de GHG als predictorvariabele gebruikt kunnen worden, in plaats van dezelfde waarde voor alle lagen binnen het profiel. Eventueel zou de GLG als aanvullende of alternatieve variabele kunnen worden gebruikt. Uitwerking van deze beide ideeën zou betekenen dat alleen de basenrijkdom van het grondwater nog uitsluitend in het tweedimensionale vlak varieert.

De aan- of afwezigheid van een cultuurdek is nu slechts marginaal opgenomen in het statistische model (en in het fysiotoopmodel), als aanvullend kenmerk voor de 'ombrotrofe zandgronden met Gt V en droger'. Wanneer de grondsoort binnen een

profiel kan variëren, zou het cultuurdek materiaal als extra ‘grondsoort’ naast ‘veen’, ‘zand’ en ‘klei’ kunnen worden gebruikt.

#### ***‘Fossiele’ profielen en profielontwikkeling***

De actueel aangetroffen profielen hoeven niet altijd overeen te komen met het theoretische eindprofiel dat op een bepaalde plaats aangetroffen zou kunnen worden onder de heersende abiotische (en biotische) condities. Dit geldt met name in relatie met de opbouw en afbraak van organische stof, bijvoorbeeld in ontwaterde veengronden en in ‘jonge’ zandgronden. In de huidige versie van het fysiotoopmodel komen bijvoorbeeld fysiotooptypen voor van veengronden met Gt V (of zelfs droger). In het Drentse-Aa-gebied betreft dit in de regel ontwaterde veengronden met slechts een dun veenpakket. De verwachting is dat dit veenpakket op kortere of langere termijn onder de huidige omstandigheden volledig zal verdwijnen. Aan de andere kant zijn er jonge zandgronden (zandverstuivingen, maar ook ontgravingen in het kader van natuurontwikkeling), waar nog opbouw van organische stof plaatsvindt.

In het licht van de beschreven problemen lijkt het zinvol om in het fysiotoopsysteem onderscheid te maken in ‘rijpe’ fysiotopen en zich nog ontwikkelende fysiotopen. Het gebruik van zich nog ontwikkelende fysiotooptypen is ook van belang voor de natuurontwikkelingsscenario’s die in het kader van het NBP-programma doorgerekend worden. In deze scenario’s wordt gebruik gemaakt van ingrepen als het verhogen van de grondwaterstand en verwijdering van de bovengrond. Het is niet zo dat het fysiotoop van code verandert zodra de maatregel is uitgevoerd en dat daarmee ook alle eigenschappen veranderd zijn. Een zekere ‘aanpassingsperiode’ dient hierin ingebouwd te worden. Verhoging van de grondwaterstand, bijvoorbeeld, geeft een verschuiving ‘omhoog’ in het fysiotoopmodel, maar de toename van het organischestofgehalte die daarbij hoort, kan nog geruime tijd in beslag nemen. De effect is nog sterker wanneer de verhoging van de grondwaterstand verkregen wordt door verlaging van het maaiveld (afgraven!). Voor zandfysiotopen wordt hierdoor niet alleen de ‘eindwaarde’ van het organischestofgehalte verhoogd, maar wordt het initiële gehalte juist verlaagd door de verwijdering van de humushoudende bovengrond.

#### **6.4 Gelaagde profielen**

Onder gelaagde of gebroken profielen wordt verstaan die bodemprofielen die binnen de eerste meter opgebouwd zijn uit verschillende moedermaterialen. De diepte van 1 meter is aangehouden, omdat in dit onderzoek de bodem tot op deze diepte onderzocht is. Binnen het Drentse-Aa-gebied komen verschillende soorten gelaagde profielen voor, bijvoorbeeld:

- veen op zand: bij een geringe veendikte,
- zand op klei: potklei of keileem bedekt met dek- of stuifzand,
- klei op veen: overstromingsgronden in benedenloop beek,
- zand op veen: overstromingsgronden in bovenloop beek, overstoven veen, veen met een toemaakdek.

Verder komen deze profielen in combinatie voor, dus met drie of meer lagen.

In het fysiotoopmodel zijn gelaagde profielen geklassificeerd op basis van het dominante materiaal in de laag 0-40 cm. In de meeste gevallen geeft de hoofdcode van de bodemsubgroep hiervoor al voldoende aanwijzing. Uitzonderingen kunnen verklaard worden uit een impliciete hiërarchie die loopt van klei via veen naar zand. Overstromingsgronden (= beekbegeleidende veengronden) met een dun kleidek (kV\_) worden geklassificeerd als kleigrond, terwijl veengronden met een zanddek (en een zandondergrond (zVz) als veengrond geklassificeerd worden. Voor zandgronden wordt slechts een dunnen moerig tussenlaag toegestaan (zWz, zWp) om ze nog als zandgronden te kunnen klassificeren.

Invulling van kaarteenheden die een gelaagde profielopbouw hebben met waarden uit de uitgevoerde regressie-analyses is slechts beperkt mogelijk, vooral voor vaste-fase-variabelen. Toekenning van de waarden van het fysiotooptype niet direct toegestaan, omdat in de afleiding hiervan vaak impliciet het moedermateriaal een rol speelt. Het grootste effect hiervan is te verwachten voor variabelen die sterk grondsoort-afhankelijk zijn, zoals de meeste gehalten die sterk beïnvloed worden door verschillen in bulkdichtheid.

De profielopbouw kan een belangrijke invloed hebben op de chemische samenstelling van de vaste fase en het bodemvocht van de afzonderlijke lagen. Om hierin inzicht te krijgen zouden de chemische karakteristieken van dit soort bodems afzonderlijk onderzocht moeten worden. Dit is echter binnen dit onderzoek niet gebeurd. Op basis van de beschikbare gegevens voor de 'zuivere' profielen zijn er twee benaderingen waarmee tegemoet gekomen kan worden aan de wens om waarden toe te kennen aan gelaagde profielen:

- a. het gebruiken van waarden uit de ongelaagde profielen
- b. het combineren van de waarden uit de ongelaagde profielen met een aangenomen correlatie tussen de lagen binnen één profiel
- c. het gebruiken van een fysiotoopmodel zonder grondsoort.

Alle drie benaderingen worden hier kort toegelicht. Behoudens enkele voorbeelden, zijn deze benaderingen niet uitgewerkt voor alle beschouwde variabelen.

*Ad a.*

Het toekennen van waarden uit verschillende fysiotooptypen is de eenvoudigste methode. Hierbij wordt voor iedere laag in een gelaagd profiel de waarde gekozen die gevonden is voor dit materiaal in een ongelaagd profiel, bij dezelfde Gt en basenklasse. Een ondiepe-veen-op-zandgrond (vWz) met Gt II en basenarme grondwater wordt bijvoorbeeld samengesteld uit de fysiotooptypen 221 (Gt II, veengrond, basenarm) en 222 (Gt II, zandgrond, basenarm). Nadeel van deze benadering is, dat geen rekening gehouden wordt met (of gebruik gemaakt wordt van) de diepte-afhankelijkheid (en de correlatie tussen opeenvolgende lagen) die in werkelijkheid bestaat en die ook in het regressiemodel ingebouwd is. Verder kan de grondsoort (gedeeltelijk) verstrengeld zijn met één van de andere factoren. Deze methode is wel geschikt voor een betere klassificatie van het grondwater. Het is vermoedelijk namelijk correcter het materiaal kiezen dat voorkomt rond de grondwaterspiegel in plaats van (of naast) het type aan het oppervlak dat het fysiotoop typeert.

*Ad b.*

Het is aannemelijk dat er correlaties bestaan tussen de verschillende lagen binnen eenzelfde bodemprofiel. Dit geldt zowel voor ongelaagde als gelaagde profielen. Een volledige kwantificering van deze correlaties kan alleen plaatsvinden wanneer gegevens beschikbaar zouden zijn voor alle relevante gelaagde profielen. Aangezien dit niet het geval was, zijn vervangende waarden geschat uit de gegevens voor de ongelaagde profielen. Voor de vaste-fase-gegevens is hierbij ook gebruik gemaakt van het gegevens dat het opeenvolgende lagen van ongelijke dikte betreft. Voor de vaste-fase- en bodemvochtvariabelen is elke waarde gesplitst in een deel dat beïnvloed is door de andere/aangrenzende laag, en een 'eigen' waarde. Voor de vaste-fase-variabelen is een beïnvloede laag van 5 cm aangenomen, grenzend aan de volgende laag. Voor de bodemvochtvariabelen is de invloed van de andere laag gesteld op 20%.

De aldus berekende 'eigen' waarde uit de ongelaagde profielen zijn ingebracht in de gelaagde profielen. Het beïnvloede deel is opnieuw berekend aan de hand van de waarden voor de afzonderlijke lagen (die nu soms van een verschillend materiaal zijn). De combinaties van het 'eigen' en het beïnvloede deel resulteert in een schatting voor de waarde van gelaagde profielen. Voorbeelden hiervan zijn uitgewerkt voor het organischestofgehalte (tabel 84) en de pH van het bodemvocht (tabel 85)

*Tabel 84 Voorbeeld van de schatting van gehalten in de vaste fase van gelaagde profielen, toegepast op het organischestofgehalte (g.kg<sup>-1</sup>) voor basenarme fysiotopten met Gt II en III (V = veen; Z = zand)*

Laag	Ongelaagde profielen <sup>1)</sup>				Gelaagde profielen			
	Fysiotoop Bodemtype <sup>2)</sup>	221 Vc	321 Vc	222 pZg	322 pZg	22X vWz	32X vWz	22Y zWz
0-10 cm	V 560	V 433	Z 134	Z 85	V 560	V 433	Z 177	Z 114
10-30 cm	V 626	V 440	Z 93	Z 46	V 538	V 353	V 506	V 324
30-60 cm	V 835	V 863	Z 17	Z 21	Z 19	Z 23	Z 19	Z 23

<sup>1)</sup> Zoals in tabel 19.

<sup>2)</sup> Voorbeeld van een bodemtype dat deze gelaagdheid vertoont.

*Tabel 85 Voorbeeld van de schatting van bodemvochtconcentraties van gelaagde profielen, toegepast op de pH (-) voor basenarme fysiotopten met Gt II en III (V = veen; Z = zand)*

Laag	Ongelaagde profielen <sup>1)</sup>				Gelaagde profielen			
	Fysiotoop Bodemtype <sup>2)</sup>	221 Vc	321 Vc	222 pZg	322 pZg	22X vWz	32X vWz	22Y iVc/iVz
Laag 1	V 5,2	V 5,3	Z 5,0	Z 5,1	V 5,3	V 5,1	Z 5,4	Z 5,2
Laag 3	V 5,7	V 5,6	Z 5,5	Z 5,4	Z 5,6	Z 5,4	V 5,7	V 5,5

<sup>1)</sup> Zoals in tabel 81.

<sup>2)</sup> Voorbeeld van een bodemtype dat deze gelaagdheid vertoont.

*Ad c.*

Voor variabelen waarvoor de grondsoort niet of nauwelijks bijdraagt aan de verklaring van de variatie. Hiervoor is het goed mogelijk om een fysiotoopmodel toe te passen waarin de grondsoort weg gelaten wordt. De schattingen van een dergelijk model gelden voor alle grondsoorten binnen de verschillende combinaties van Gt en

basenrijkdom. Doordat dergelijke waarden voor alle grondsoorten gelden, maakt het niet meer uit dat de grondsoort varieert. Deze benadering is ook goed toepasbaar voor de grondwatervariabelen.

## 7 Conclusies

De volgende conclusies kunnen getrokken worden uit de verkregen resultaten:

1. De dikte van de strooisellaag (op de boslocaties) hangt vooral samen met de basenrijkdom van de plek: hoe armer hoe dikker.
2. De gehaltes aan organische stof en nutriënten in, en de bulkdichtheid van in de 'minerale' bodem hangen vooral samen met de grondsoort: organisch vs. mineraal. Voor de meeste elementen kan de voorraad goed als alternatieve variabele gebruikt worden, die minder sterk beïnvloed wordt door dit verschil.
3. De pH en de C/N-ratio hangen vooral samen met de basenrijkdom van het grondwater. De bezetting van het kationomwisselcomplex hangt echter ook samen met verschillende andere factoren, waaronder het vegetatietype.
4. Voor de pH en de concentraties van Ca, K en Al (en de Al/Ca-ratio) in het grondwater geeft van de onderzochte milieufactoren vooral de basenklasse van het grondwater de beste verklaring voor de gevonden variatie.
5. Omdat de genoemde variabelen (punt 4.) ook een belangrijke rol spelen in de typering door MAION, hangen ook de similariteiten met lithotroof en atmotroof water vooral samen met de basenklasse. Het verschil tussen 'basenarm' en 'baserijk' is echter minder scherp dan het verschil tussen de klassen en de klasse 'ombrotroof'.
6. Hoge concentratie van meststoffen (vooral  $\text{NO}_3$ , maar ook Cl) zijn aangetroffen onder de bemeste vegetatietypen. MAION is minder geschikt om dergelijke gegevens te analyseren
7. De variatie in de  $\text{NH}_4$ -concentraties in bodemvocht en grondwater hangt vooral samen met de Gt.
8. De pH, de Ca-concentratie en de Al/Ca-ratio hangen vooral samen met de basenrijkdom van het grondwater, terwijl voor de K- en Al-concentratie en de Al/Ca- en  $\text{NH}_4/\text{K}$ -ratio's ook de andere abiotische factoren van belang zijn.
9. Het vegetatietype is belangrijke additionele factor voor de pH, de Ca- en de  $\text{NO}_3$ -concentraties en de belangrijkste factor in de variatie van de  $\text{NO}_3$ -concentratie.
10. De invloed van het vegetatietype op de bodemvochtsamenstelling neemt af met de diepte, terwijl die van de abiotische milieufactoren doorgaans juist toeneemt. Hierbij speelt ook de nabijheid van het grondwater een belangrijke rol.

De volgende conclusies kunnen getrokken worden met betrekking tot de 'validatie' van het fysiotoopmodel:

1. De gebruikte versie van het fysiotoopmodel verschafte een zeer bruikbare classificatie voor een chemische karakterisering van de bodem en het grondwater.
2. De indeling in basenklasse is voor de meest variabelen het belangrijkste indelingscriterium, terwijl de toevoeging code voor cultuurdek op basis de beschikbare gegevens schijnbaar overbodig was.
3. Het vegetatietype is een belangrijke factor voor die variabelen die meer veranderlijk zijn en sterk beïnvloed kunnen worden door bemesting en atmosferische depositie.
4. De belangrijkste aanpassing van het fysiotoopmodel, die op basis van de verkregen resultaten voorgesteld wordt, is de opdeling van de kleigronden over

meer klassen in basenrijkdom. Nu zijn alle kleifysiotopen op basis van de mineralogische samenstelling van het moedermateriaal ingedeeld in de klasse 'basenrijk' terwijl ook de kwaliteit van het grondwater in relatie tot het regionale hydrologische systeem een rol speelt. De beekbegeleidende kleigronden worden dan 'basenrijk' en de overige kleigronden (potklei en keileem op de plateaus) 'basenarm' of zelfs 'ombrotroof'.

De volgende conclusies kunnen getrokken worden met betrekking tot de proefopzet:

1. De geselecteerde locaties geven een goede doorsnee van de in het gebied voorkomende abiotische milieufactoren en vegetatietype, al kunnen door het grote aantal klassen en indelingen lang niet alle combinaties bemonsterd worden, wat onzekerheid introduceert bij de schatting van waarden voor deze combinaties.
2. De toevoeging van de locaties uit de '150 opstanden' en de 'zeven Drentse opstanden' leverde bruikbare additionele gegevens op.
3. De variatie in bemonsterde dieptes leverde belangrijke beperkingen op in de mogelijkheden tot verwerking en interpretatie van alle beschikbare gegevens.



## Literatuur

Beusekom, C.F. van, J.M.J. Farjon, F. Foekema, B. Lammers, J.G. de Molenaar & W.P.C. Zeeman, 1990. *Handboek grondwaterbeheer voor natuur, bos en landschap*. 's-Gravenhage, Sdu Uitgeverij, in opdracht van Studiecommissie Waterbeheer natuur, bos en landschap. 187 pp.

Bink, F.A., J. Meltzer, J.G. de Molenaar, T.A.W. van Rossum & G.J. Saalink (red.), 1984. *Levensgemeenschappen; Natuurbeheer in Nederland 1* (2<sup>e</sup> druk). Wageningen, Pudoc. 391 pp.

Bodemkaart 12-Oost, 1977. *Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000, kaartblad 12-Oost Assen (met toelichting)*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering. 169 pp + 2 kaarten.

Bodemkaart 12-West, 1991. *Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000, kaartblad 12-West Assen (met toelichting)*. Wageningen, DLO Staring Centrum. Toelichting bij het kaartblad + Algemene begrippen + 2 kaarten.

Bolt, F.J.M. van der, 1997. *Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS); regionale hydrologische modellering van het stroomgebied van de Drentse Aa*. Wageningen, DLO Staring Centrum. Rapport \_\_\_.

Everts, F.H. & N.P.J. de Vries, 1991. *De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen een landschapsoecologische studie van enkele Drentse beekdalen*. Groningen, Historische Uitgeverij. \_\_\_ pp.

Kemmers, R.H. & F.J.E. van der Bolt, 1997. *Een fysiotopentypologie voor de beekdal-landschappen; een ruimtelijke schematisatie van het beekdallandschap voor het Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrument voor Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS)*. Wageningen (The Netherlands), DLO Staring Centrum. Rapport 502.

Klap, J.M., W. de Vries & E.E.J.M. Leeters, 1998. *Effects of acid atmospheric deposition on the chemical composition of loess, clay and peat soils under forest in the Netherlands*. Wageningen (The Netherlands), DLO Winand Staring Centre. Report 97.

Kros, J., G.J. Reinds, A.H. Prins, F.J.E. van der Bolt & R.H. Kemmers, 1997. *Modelling the response of terrestrial ecosystems to changes in vegetation structure, atmospheric deposition and hydrology; results of the soil module of the GREINS model*. Wageningen (The Netherlands), DLO Winand Staring Centre.

Kuijjer, P.C., 1991. *Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000, kaartblad 12-West Assen (met toelichting)*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.

NBP, 1990. *Natuurbeleidsplan*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. 's-Gravenhage.

Prins, A.H., 1995. *Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS); vegetatiemodule: GREINS-VEG0*. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 6. 84 pp.

Prins, A.H., V. Joosten & G. van Wirdum, 1996. *Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS); vegetatiemodule: GREINS-VEG1*. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 8. 105 pp.

Roos 1992. *Milieukartering Drenthe 1974-1978; Deel IV: vegetatiekaart*. Provincie Drenthe, Dienst Ruimte en Groen.

Waal, R.W. de. 1992. *Landschapsecologische kartering van Nederland: bodem en grondwatertrappen; toelichting bij het databestand BODEMGT van het LKN-project (fase III)*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 132. LKN-rapport 2.

Werf, S. van der, 1991. *Bosgemeenschappen; Natuurbeheer in Nederland 5*. Wageningen, Pudoc. 375 pp.

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

Vries, W. de & E.E.J.M. Leeters, 1998. *Effects of acid deposition on 150 forest stands in the Netherlands. 1. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution*. Wageningen, DLO Staring Centrum. Report 69.1.

#### ***Niet-gepubliceerde bronnen***

Groot, H.D., 1994. *Landschap uit het water: een onderzoek naar de samenhang tussen grondwaterkwaliteit en fysiotoopen*. Velp/Wageningen, I.A.H. Larenstein, DLO-Staring Centrum. Afstudeeropdracht hydrologie en waterbeheer. 21 pp + bijlagen.

Vries, W. de, 1994. *Chemische samenstelling van bodem, bodemvocht en grondwater onder zeven boslocaties in Drenthe*. Interne notitie SC-DLO.

# Aanhangsel A Overzicht van de bemonsterde locaties met alle relevante gegevens

Table A-1 Lijst van bemonsterde locaties met alle relevante gegevens

Nummer	Naam	Eigenaar/ beheerder	Coördinaten		Vegetatie- type	Grondsoort	S <sup>1)</sup>	Grondwaterdiepte			Gt	Fysiotoop			pH	EGV	Opmerkingen <sup>1)</sup>	
			X	Y				GHG	GLG	Act.		T	B	G				C
1	De Punt	Staatsbosbeheer	238,45	570,10	gras_cult	zand	OZ	-30	-130	-100	Vbo	4	1	2	-	5,8	318	Cr.m
2	Osbroecken	Staatsbosbeheer	238,53	569,56	gras_sryk	veen	AV	-20	-110	-55	IIIa	3	2	1	-	5,4	275	Cj(pirus)
3	Lage Maden (Oost)	Staatsbosbeheer	238,53	559,57	gras_sryk	zand	OZ	*	*	-62	IIIb	3	1	2	-	4,7	127	Cm
4	Lage Maden (West)	Staatsbosbeheer	238,45	559,56	gras_sryk	veen	BV	*	*	-33	IIa	2	3	1	-	5,5	134	Cj.c
5	Schipborg Diep	Staatsbosbeheer	240,90	565,01	gras_sryk	zand	AZ	*	-70	-21	IIa	2	2	2	-	5,5	500	Cm
6	Taarloose Diep	Staatsbosbeheer	238,57	561,14	gras_sryk	veen	BV	0	-60	-39	IIa	2	3	1	-	5,9	225	Cm.c
7	Loonerdiep (Zuid)	Staatsbosbeheer	237,93	558,84	gras_sryk	zand	AZ	-5	-75	-25	IIa	2	2	2	-	5,3	210	Cx.q
8	Loonerdiep (Noord)	Staatsbosbeheer	237,90	558,90	gras_sryk	veen	BV	5	-55	-38	IIa	2	3	1	-	6,0	350	Cm.c
9	Gasterensche Diep	Staatsbosbeheer	239,67	558,74	gras_sryk	veen	BV	-15	-60	*	IIa	2	3	1	-	6,0	690	Cc
10	Burgvallen (Noord)	Staatsbosbeheer	240,50	563,34	elzenbos	veen	BV	5	-15	-5	Ia	1	3	1	-	5,4	450	L.a.r
11	Burgvallen (Zuid)	Staatsbosbeheer	240,63	562,97	gras_sryk	zand	AZ	-15	-90	*	IIIa	3	2	2	-	4,6	96	Cr
12	Deurzer Diep (Zuid)	Staatsbosbeheer	236,79	556,37	gras_cult	zand	OZ	-30	-130	-74	Vbo	4	1	2	-	4,8	85	Cg.j
13	Deurzer Diep (Nrd)	onbekend	236,87	556,86	lariksbos	zand	OZ	-30	-999	-195	Vbd	4	1	2	-	*	295	Nh.q
14	Gasterensche Holt (N)	Drents Landschap	241,63	560,90	gras_sryk	klei	BK	0	-140	-17	Vao	4	3	3	-	5,7	280	Cg.j
15	Gasterensche Holt (Z)	Drents Landschap	241,44	560,67	elzenbos	klei	BK	-5	-150	-60	Vao	4	3	3	-	5,8	225	Laif.q
16	Grolloer Veen	Staatsbosbeheer	240,27	548,41	heide	veen	OV	10	-40	-20	Ia	1	1	1	-	4,0	*	He1.v
17	Balloerveld (Noord)	Min. Defensie	239,53	560,53	heide	zand	OZ	-15	-95	-64	IIIa	3	1	2	-	4,4	110	He1
18	Balloerveld (Zuid)	Min. Defensie	240,10	559,23	dennenbos	zand	OZ	-85	-999	-999	VIIo	5	1	2	-	*	*	Ng.r
19	Balloerveld (Oost)	Min. Defensie	240,17	559,95	heide	zand	OZ	-35	-185	-157	Vbo	4	1	2	-	4,1	60	Hg.b
20	Kampsheide	Drents Landschap	237,82	557,19	jeneverbos	zand	OZ	-55	-999	-999	Vld	5	1	2	-	*	*	Sd
21	Vijftig Bunder	Natuurmonumenten	239,92	569,30	heide	zand	OZ	-70	-999	-999	Vld	5	1	2	-	*	*	Hk1
22	Schipborg	Staatsbosbeheer	240,71	564,01	eikenbos	zand	OC	-70	-190	-999	Vld	5	1	2	C	*	*	Qh.r
23	Gasterensche Duinen	Drents Landschap	240,17	562,58	heide	zand	OZ	-70	-180	-999	Vld	5	1	2	-	*	*	Hh.b
24	Witterveld (Zuid)	Min. Defensie	229,81	552,54	heide	veen	OV	-10	-35	-30	IIa	2	1	1	-	3,6	135	He1
25	Witterveld (Noord)	Min. Defensie	230,68	553,32	heide	veen	OV	10	-15	5	Ia	1	1	1	-	3,8	80	Hk2.v
26	Zwijnmaden	Staatsbosbeheer	238,85	567,63	gras_sarm	zand	OZ	-30	-100	-82	IIIb	4	1	2	-	4,8	80	Cc
27	Grolloer Veld	Staatsbosbeheer	243,71	551,42	gras_sarm	zand	OZ	-110	-190	-180	VIIo	5	1	2	-	4,2	70	G
28	Berenkuil	onbekend	240,42	550,86	jeneverbos	zand	OZ	-45	-210	-210	Vld	5	1	2	-	*	*	Hd
29	Veenlijk Melkwegbos	Staatsbosbeheer	235,48	548,41	heide	veen	OV	0	-85	-52	IIIa	3	1	1	-	4,0	70	He2
30	Hingstveen	Staatsbosbeheer	235,93	548,72	heide	veen	OV	5	-40	-10	IIa	2	1	1	-	3,8	90	Hx
31	Dijkveld	Min. Defensie	236,97	558,08	berkenbos	zand	AZ	-35	-110	-105	IIIb	3	2	2	-	4,2	200	Qb.g
32	Binnenveld (West)	Staatsbosbeheer	237,72	560,29	gras_cult	zand	OZ	-35	-170	-139	Vbo	4	1	2	-	4,6	120	Gq
33	Binnenveld (Oost)	Staatsbosbeheer	238,09	560,06	gras_sryk	zand	AZ	-5	-85	-65	IIIa	3	2	2	-	5,6	145	Cg.j

Nummer	Naam	Eigenaar/beheerder	Coördinaten		Vegetatie- type	Grondsoort		Bodem-			Grondwaterdiepte			Gt	Fysiotoop	pH	EGV	Opmerkingen 1)
			X	Y		Naam	S <sup>1)</sup>	type	GHG	GLG	Act.	T	B					
34	Koebroeksveld	onbekende boer	237,96	558,78	maisakker	zand	LB	Hn21	-30	-140	-104	Vbo	4 1 2 -	5,6	900	Rr.t		
35	Westerholt	Staatsbosbeheer	243,26	559,22	elzenbos	klei	BK	KX	5	-110	-35	IIIa	3 3 3 -	6,3	410	La		
36	Eexterveld	Staatsbosbeheer	243,18	559,06	gras_aryk	zand	OZ	Hn21x	-35	-175	-85	Vbo	4 1 2 -	5,0	120	Cj.k		
37	Amelkerbos	onbekend	236,20	557,13	sparrebos	zand	OZ	Hn21	-85	-200	-160	VIIId	5 1 2 -	*	*	Nk.y		
38	Tynaarlo	St. Ecol. Beheer	239,08	556,17	eikenbos	zand	AZ	pZn21	-35	-90	-54	IIIb	3 2 2 -	4,4	745	Qb.u		
39	Vredeveld	onbekend	239,82	564,34	dennenbos	zand	OZ	Zd21	-110	-999	-999	VIIId	5 1 2 -	*	*	Nq.t		
40	Westerse Veld (N)	onbekend	239,40	552,81	heide	zand	OZ	Hn21	-50	-999	-999	VId	5 1 2 -	*	*	Hx		
41	Geelbroek	Staatsbosbeheer	234,47	553,02	gras_cult	veen	LB	faVz	-5	-70	-15	IIa	2 2 1 -	6,3	445	Gca		
42	Westerse Veld (Z)	onbekend	238,92	552,43	sparrebos	zand	OZ	Hn21	-30	-170	-75	Vbo	4 1 2 -	4,1	425	No		
43	Amer Ruimsloot	Staatsbosbeheer	238,73	552,32	gras_sarm	veen	AV	aVz	0	-70	-35	IIa	2 2 1 -	7,3	430	Gr.a + 10 jaar geen bemesting		
44	t Ruige Veld	t Ruige Veld	238,77	555,65	dennenbos	zand	OZ	Y23	-70	-999	-999	VId	5 1 2 -	*	*	Nk.b		
45	Schechroeker Diep	Staatsbosbeheer	241,93	558,65	gras_cult	klei	LB	KX	-10	-999	-90	Vad	4 3 3 -	6,3	450	Gq		
46	Balloer Es	onbekendeboer	238,04	558,32	maisakker	zand	LB	mcY21	-60	-999	-999	VId	5 1 2 C	*	*	Rr.t		
47	Anderensche Diep	Staatsbosbeheer	244,54	555,67	gras_sarm	veen	BV	faVc	-5	-60	-20	IIa	2 3 1 -	5,9	550	Gm		
48	Gietener Veld	Staatsbosbeheer	244,04	554,83	sparrebos	zand	AZ	pZn21	-35	-95	-55	IIIb	3 2 2 -	3,9	300	Nk, geen mest, kiemjaar 1970		
49	Anloer Diepje	Staatsbosbeheer	242,40	562,52	gras_sarm	zand	AZ	fpZg21	-5	-60	-25	IIa	2 2 2 -	5,7	340	Gca		
50	Oostenmoersche Made	Staatsbosbeheer	243,68	553,74	gras_sarm	veen	AV	aVz	-5	-45	-12	la	1 2 1 -	5,5	340	Gma		
7002	Hooghalen	*	235,00	549,00	sparrebos	zand	OZ	Hn21	*	*	-300	VII	5 1 2 -	*	*	*		
7003	Grolloo	*	241,00	549,00	lariksbos	zand	OZ	Hn21	*	*	-185	VII	5 1 2 -	*	*	*		
150037	*	*	245,50	550,50	lariksbos	zand	OZ	Hn21-F	-85	-200	*	VIIId	5 1 2 -	*	*	*		
150039	*	*	245,50	554,50	dougl_bos	zand	OC	cHd23	-150	-300	*	VIIIId	5 1 2 C	*	*	*		
150040	*	*	245,50	555,50	sparrebos	zand	OZ	Hn23x-F	-200	-350	*	VIIIId	5 1 2 -	*	*	*		
150042	*	*	246,50	552,50	lariksbos	zand	OZ	Hn21x-F	-130	-200	*	VIIId	5 1 2 -	*	*	*		
150043	*	*	247,50	552,50	lariksbos	zand	OZ	Zd21	-180	-300	*	VIIIId	5 1 2 -	*	*	*		
150075	*	*	239,50	547,50	sparrebos	zand	OZ	Hn21-F	-70	-150	*	Vto	5 1 2 -	*	*	*		
150076	*	*	239,50	548,50	eikenbos	zand	OZ	Hn21x-F	-60	-150	*	Vto	5 1 2 -	*	*	*		
150205	*	*	245,50	552,50	lariksbos	zand	OZ	Hn23x-F	-140	-300	*	VIIId	5 1 2 -	*	*	*		
150214	*	*	242,50	548,50	eikenbos	zand	OZ	Hn21x-F	-100	-190	*	VIIIId	5 1 2 -	*	*	*		
150536	*	*	242,50	550,50	sparrebos	zand	OZ	Hn23-F	-60	-125	*	Vto	5 1 2 -	*	*	*		
150546	*	*	244,50	554,50	dennenbos	zand	OZ	Hd21	-160	-300	*	VIIIId	5 1 2 -	*	*	*		

Lokaties uit '150 bosopstanden'

Tabel A-2 Volledig overzicht van de verdeling van de locaties, opgedeeld naar vegetatietype, over de fysiotopen

Grond- water- trap	Vegetatietype	Basentoestand / Moedermateriaal						
		Ombrotroof			Basenarm		Basenrijk	
		Veen	Zand	-/+ c.dek	Veen	Zand	Veen	Klei
I	Donker naaldbos	-	-	-	-	-	-	
	Licht naaldbos	-	-	-	-	-	-	
	Loofbos	-	-	-	-	1	-	
	Heide	2	-	-	-	-	-	
	Jeneverbesheide	-	-	-	-	-	-	
	Ext. grasland 'C'	-	-	-	-	-	-	
	Ext. grasland 'G'	-	-	-	1	-	-	
	Int. grasland	-	-	-	-	-	-	
	Maïsland	-	-	-	-	-	-	
	Totaal	2	-	-	1	-	1	-
II-II*	Donker naaldbos	-	-	-	-	-	-	
	Licht naaldbos	-	-	-	-	-	-	
	Loofbos	-	-	-	-	-	-	
	Heide	2	-	-	-	-	-	
	Jeneverbesheide	-	-	-	-	-	-	
	Ext. grasland 'C'	-	-	-	-	2	4	
	Ext. grasland 'G'	-	-	-	1	1	1	
	Int. grasland	-	-	-	1	-	-	
	Maïsland	-	-	-	-	-	-	
	Totaal	2	-	-	2	3	5	-
III-III*-IV	Donker naaldbos	-	-	-	-	1	-	
	Licht naaldbos	-	-	-	-	-	-	
	Loofbos	-	1	-	-	1	-	
	Heide	1	1	-	-	-	-	
	Jeneverbesheide	-	-	-	-	-	-	
	Ext. grasland 'C'	-	1	-	1	2	-	
	Ext. grasland 'G'	-	1	-	-	-	-	
	Int. grasland	-	-	-	-	-	-	
	Maïsland	-	-	-	-	-	-	
	Totaal	1	4	-	1	4	-	1
V-V*	Donker naaldbos	-	1	-	-	-	-	
	Licht naaldbos	-	1	-	-	-	-	
	Loofbos	-	-	-	-	-	1	
	Heide	-	1	-	-	-	-	
	Jeneverbesheide	-	-	-	-	-	-	
	Ext. grasland 'C'	-	1	-	-	-	1	
	Ext. grasland 'G'	-	-	-	-	-	-	
	Int. grasland	-	3	-	-	-	1	
	Maïsland	-	1	-	-	-	-	
	Totaal	-	8	-	-	-	-	3
VI-VII-VIII	Donker naaldbos	-	5	1	-	-	-	
	Licht naaldbos	-	9	-	-	-	-	
	Loofbos	-	2	1	-	-	-	
	Heide	-	3	-	-	-	-	
	Jeneverbesheide	-	2	-	-	-	-	
	Ext. grasland 'C'	-	-	-	-	-	-	
	Ext. grasland 'G'	-	1	-	-	-	-	
	Int. grasland	-	-	-	-	-	-	
	Maïsland	-	-	1	-	-	-	
	Totaal	-	22	3	-	-	-	

## Aanhangsel B Originele resultaten van de chemische analyses

Tabel B-1 Vaste fase: pH, vochtgehalte, rho, en totaal- en oxolaat-extraheerbare gehalten

LokNr	Lg	Diepte cm-mv.	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	Vocht %	Rho kg.m <sup>-3</sup>	OS g.kg <sup>-1</sup>	C <sub>tot</sub> g.kg <sup>-1</sup>	N <sub>tot</sub> g.kg <sup>-1</sup>	P <sub>tot</sub> g P.kg <sup>-1</sup>	P <sub>ox</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Al <sub>ox</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>ox</sub> mmol.c.kg <sup>-1</sup>
1	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	1	0-10	5,6	4,5	2,48	925	160	68,8	5,86	0,7423	18,54	67,71	306,51
1	2	10-30	5,6	4,7	1,04	1280	60	25,8	1,77	0,1965	4,17	66,18	71,97
2	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	1	0-10	5,3	4,6	3,92	405	177	86,7	8,09	2,3700	39,20	60,17	580,25
2	2	10-30	5,9	5,2	4,23	440	140	68,6	5,07	1,9000	25,06	40,57	848,90
3	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	1	0-10	5,7	4,7	1,06	1211	75	32,2	1,96	0,4235	11,13	36,55	31,86
3	2	10-30	5,7	4,7	0,67	1393	39	16,8	1,00	0,2314	6,46	46,51	18,97
4	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	1	0-10	5,7	5,0	5,24	335	286	140,1	11,43	1,8900	32,82	51,14	795,66
4	2	10-30	5,6	5,0	6,23	307	346	169,5	14,51	1,4700	28,00	46,05	683,69
5	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	1	0-10	5,6	4,7	1,69	1095	104	44,7	2,97	0,3711	9,92	43,76	129,76
5	2	10-30	5,5	4,7	1,57	1202	77	33,1	3,89	0,3275	10,08	49,47	166,32
6	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	1	0-10	5,4	4,8	6,07	302	359	175,9	14,78	2,0300	30,45	45,74	903,16
6	2	10-30	4,9	4,7	7,10	284	407	199,4	17,63	1,5900	25,24	41,33	716,92
7	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	1	0-10	5,2	4,2	1,89	1012	129	55,5	4,27	0,7554	14,30	44,29	86,31
7	2	10-30	5,4	4,4	1,30	1172	84	36,1	2,10	0,3231	7,10	41,03	55,01
8	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	1	0-10	5,9	5,2	9,12	234	571	279,8	23,53	2,9200	52,15	45,03	732,86
8	2	10-30	5,7	5,1	9,13	238	557	272,9	23,80	1,8400	38,14	47,17	564,37
9	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	1	0-10	5,9	5,1	4,26	381	209	102,4	9,48	3,0800	74,34	62,50	560,26
9	2	10-30	6,0	5,3	5,13	348	262	128,4	10,02	2,8800	72,87	66,99	571,21
10	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	1	0-30	5,2	4,7	11,02	227	601	294,5	20,89	10,0500	127,34	12,08	1326,90
10	2	30-60	5,0	4,7	10,11	218	639	313,1	22,42	4,8500	48,38	12,31	1262,32
11	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	1	0-10	5,4	4,3	2,84	854	210	90,3	5,25	1,0173	20,62	90,51	90,04
11	2	10-30	5,4	4,4	1,60	1052	122	52,5	2,34	0,4017	9,37	80,54	53,34
12	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
12	1	0-10	5,7	4,6	0,89	1318	45	19,4	1,54	0,7117	21,02	45,36	32,47
12	2	10-30	5,8	4,9	0,80	1404	37	15,9	1,13	0,6593	20,89	45,36	31,68
13	0	-7,2-0	3,3	2,6	6,71	293	635	*	15,56	0,5100	*	*	*
13	1	0-30	3,9	3,0	1,06	1215	74	31,8	1,29	0,3100	8,29	26,12	18,26
13	2	30-60	4,4	3,9	0,80	1435	32	13,8	0,64	0,2139	5,63	84,52	18,94
14	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
14	1	0-10	5,4	4,5	1,75	1067	92	45,1	2,14	0,4279	5,69	32,31	46,82
14	2	10-30	5,6	4,5	1,30	1222	58	28,4	1,91	0,2838	2,79	31,19	48,15
15	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	1	0-30	5,4	4,3	1,59	1182	66	32,3	2,37	0,3711	6,74	35,09	27,55
15	2	30-60	6,0	4,8	1,67	1409	21	10,3	0,43	0,0917	0,37	21,98	44,37
16	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
16	1	0-10	4,1	3,0	7,53	202	711	348,4	14,43	0,5100	3,19	78,97	32,60
16	2	10-30	3,9	2,9	9,09	168	896	439,0	12,70	0,2400	1,09	76,49	40,94
17	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17	1	0-10	4,3	3,2	1,64	994	135	58,0	2,06	0,0917	0,68	51,52	6,69
17	2	10-30	4,7	3,9	1,29	1242	68	29,2	1,04	0,0655	0,83	87,29	2,41
18	0	*	4,0	3,1	5,57	*	559	*	11,20	0,4600	*	*	*
18	1	0-30	4,4	3,5	0,79	1342	48	20,6	0,86	0,1092	1,67	43,40	26,74
18	2	30-60	4,5	4,2	0,79	1460	28	12,0	0,40	0,1048	1,62	79,54	29,07
19	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19	1	0-10	4,5	3,1	1,11	1132	95	40,8	1,40	0,0786	0,76	17,50	5,85
19	2	10-30	4,4	3,5	0,92	1348	47	20,2	0,73	0,0699	1,18	53,82	9,75
20	0	*	4,1	3,5	8,46	*	892	*	20,95	0,8600	*	*	*
20	1	0-30	4,3	3,1	1,19	1193	77	33,1	1,49	0,1790	2,82	26,16	20,66
20	2	30-60	4,4	3,7	1,17	1305	48	20,6	0,88	0,1615	3,26	64,26	53,27

LokNr	Lg	Diepic cm-mv.	pH(H2O)	pH(KCl)	Vochl %	Rho kg.m <sup>-3</sup>	OS g.kg <sup>-1</sup>	C <sub>ut</sub> g.kg <sup>-1</sup>	N <sub>ut</sub> g.kg <sup>-1</sup>	P <sub>ut</sub> g P.kg <sup>-1</sup>	P <sub>ox</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	A <sub>ox</sub> <sup>1</sup> mmol.kg <sup>-1</sup>	Fc <sub>ox</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>
21	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
21	1	0-10	4,7	3,3	1,39	1067	112	48,2	1,83	0,1310	1,36	18,53	12,63
21	2	10-30	4,6	3,6	0,66	1422	34	14,6	0,68	0,0742	1,01	27,75	9,25
22	0	-4,2-0	4,0	3,2	5,82	189	563	*	14,75	0,6400	*	*	*
22	1	0-30	4,1	3,1	0,68	1337	49	21,1	0,93	0,1135	2,10	14,59	11,62
22	2	30-60	4,5	3,8	0,46	1421	23	9,9	0,42	0,1004	2,36	24,88	14,28
23	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
23	1	0-10	4,2	3,5	0,95	1238	69	29,7	1,21	0,1004	1,30	32,00	16,66
23	2	10-30	4,5	3,9	0,97	1323	44	18,9	0,71	0,0917	1,54	68,85	34,66
24	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
24	1	0-10	3,7	2,7	9,52	172	871	426,8	13,70	0,5400	5,73	65,21	24,98
24	2	10-30	3,7	2,9	9,99	164	924	452,8	10,74	0,2700	1,94	30,26	13,77
25	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25	1	0-10	3,9	2,9	6,64	221	624	305,8	11,41	0,3900	3,11	64,58	17,86
25	2	10-30	3,8	2,8	10,84	168	897	439,5	10,31	0,2700	1,75	45,84	18,39
26	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
26	1	0-10	5,5	4,4	1,09	1211	75	32,2	2,14	0,3275	5,16	39,73	18,46
26	2	10-30	5,2	4,3	1,06	1305	55	23,6	1,14	0,1441	2,36	86,86	10,79
27	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
27	1	0-10	4,8	3,8	0,96	1276	61	26,2	1,41	0,2969	7,46	46,10	6,74
27	2	10-30	5,1	4,1	0,95	1290	58	24,9	1,28	0,2270	5,02	45,43	5,23
28	0	*	3,8	2,9	6,34	*	621	*	15,46	0,6100	*	*	*
28	1	0-30	4,3	3,4	0,55	1435	32	13,8	0,72	0,0699	0,92	16,91	11,76
28	2	30-60	4,5	4,1	0,38	1548	15	6,4	0,33	0,0524	0,86	28,99	9,95
29	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	1	0-10	3,7	2,6	7,06	209	679	332,7	11,46	0,3600	3,47	86,26	22,92
29	2	10-30	3,7	2,7	9,15	202	710	347,9	11,07	0,3200	2,50	64,69	30,09
30	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30	1	0-10	3,6	2,9	9,63	167	902	442,0	12,70	0,3500	2,57	49,59	20,36
30	2	10-30	3,8	3,0	9,01	173	865	423,9	14,10	0,4500	4,48	55,94	22,09
31	0	-6,8-0	4,1	3,3	6,72	242	640	*	15,33	0,5000	*	*	*
31	1	0-30	4,1	3,3	1,25	1121	97	41,7	1,60	0,0917	1,00	46,89	3,52
31	2	30-60	4,2	3,9	0,72	1441	31	13,3	0,55	0,0480	0,78	70,37	1,35
32	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
32	1	0-10	5,5	4,3	1,33	1238	69	29,7	2,44	0,6113	15,37	52,56	16,84
32	2	10-30	5,3	4,3	1,09	1252	66	28,4	1,48	0,4323	10,54	59,85	14,32
33	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
33	1	0-10	5,6	4,7	1,81	1152	89	38,3	3,79	0,7597	15,05	25,45	129,57
33	2	10-30	5,7	5,0	1,33	1252	66	28,4	2,40	0,3842	7,43	28,05	128,86
34	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
34	1	0-30	6,4	5,7	0,83	1364	44	18,9	1,20	0,3930	9,42	42,15	15,28
34	2	30-60	6,0	5,1	0,56	1416	24	10,3	0,54	0,1354	2,74	52,95	7,03
35	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
35	1	0-30	5,8	5,1	2,89	993	112	54,9	4,74	0,6549	10,48	48,72	134,09
35	2	30-60	6,7	6,0	1,54	1390	27	13,2	0,70	0,3973	8,11	11,68	115,66
36	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
36	1	0-10	5,6	4,2	1,04	1260	59	25,4	1,41	0,1615	2,47	72,67	5,95
36	2	10-30	5,0	3,9	0,72	1345	39	16,8	0,74	0,0611	0,82	57,98	2,31
37	0	-10,6-0	4,0	3,3	6,88	306	648	*	14,89	0,5300	*	*	*
37	1	0-30	4,1	3,1	0,96	1276	55	23,6	1,24	0,0873	1,19	22,70	3,46
37	2	30-60	4,1	3,5	1,17	1337	49	21,1	0,92	0,1135	2,25	103,57	4,87
38	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
38	1	0-30	4,4	3,7	2,48	881	178	76,5	3,42	0,2532	3,65	64,43	83,52
38	2	30-60	4,7	4,4	0,87	1342	48	20,6	1,14	0,1135	2,27	77,02	21,55
39	0	-7,1-0	3,9	3,1	6,81	173	703	*	14,79	0,4800	*	*	*
39	1	0-30	4,3	3,5	0,95	1264	58	24,9	0,99	0,1092	1,66	46,70	25,97
39	2	30-60	4,6	4,1	0,75	1368	34	14,6	0,54	0,1135	2,13	80,79	35,29
40	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
40	1	0-10	4,3	3,0	0,81	1220	73	31,4	1,49	0,0742	0,56	9,60	3,36
40	2	10-30	4,3	3,3	1,29	1252	66	28,4	1,11	0,1135	1,52	59,16	4,27
41	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
41	1	0-10	6,2	5,4	7,90	299	366	179,3	16,37	4,5300	24,89	22,37	1067,27
41	2	10-30	6,4	5,5	9,45	273	437	214,1	17,54	3,9000	12,08	18,41	1157,98
42	0	-4-0	3,7	3,1	6,25	368	682	*	16,60	0,6900	*	*	*
42	1	0-30	3,9	3,2	1,33	1160	87	37,4	1,37	0,1615	3,28	63,59	6,32
42	2	30-60	4,2	3,9	0,65	1479	25	10,8	0,43	0,0611	1,15	76,91	2,33

LokNr	Lg	Diepte cm.-mv.	pH(H2O)	pH(KCl)	Vocht %	Rho kg.m <sup>3</sup>	OS g.kg <sup>-1</sup>	C <sub>tot</sub> g.kg <sup>-1</sup>	N <sub>tot</sub> g.kg <sup>-1</sup>	P <sub>tot</sub> g P.kg <sup>-1</sup>	P <sub>ox</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Al <sub>ox</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>ox</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>
43	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
43	1	0-10	6,2	5,3	9,76	234	570	279,3	25,74	2,6200	18,14	46,82	1089,60
43	2	10-30	6,2	5,4	10,78	217	643	315,1	27,84	2,0300	14,78	55,27	925,58
44	0	-7-0	3,9	2,8	6,63	265	610	*	13,03	0,4400	*	*	*
44	1	0-30	4,0	3,5	0,95	1293	51	21,9	0,88	0,1092	1,99	62,63	29,31
44	2	30-60	4,6	4,3	0,70	1499	22	9,5	0,45	0,1135	2,43	107,92	23,52
45	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
45	1	0-10	5,6	4,9	1,46	1126	78	38,2	3,05	1,0261	26,25	31,64	75,63
45	2	10-30	5,8	5,0	1,01	1337	38	18,6	1,02	0,4715	12,26	27,15	66,22
46	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
46	1	0-30	5,4	4,5	0,64	1493	23	9,9	0,60	0,3711	9,44	72,61	41,98
46	2	30-60	5,8	4,7	0,69	1429	33	14,2	1,12	0,6986	18,96	34,07	31,06
47	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
47	1	0-10	6,0	5,0	7,48	266	460	225,4	19,64	2,7700	45,12	54,54	1147,10
47	2	10-30	6,0	5,1	8,42	247	522	255,8	21,35	2,2200	33,55	59,76	1116,12
48	0	-11,5-0	3,7	2,8	7,15	184	764	*	17,06	0,5900	*	*	*
48	1	0-30	4,1	3,5	0,48	1447	30	12,9	0,53	0,0655	1,15	17,58	14,27
48	2	30-60	4,4	3,9	0,48	1382	31	13,3	0,75	0,0611	1,06	23,78	20,21
49	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
49	1	0-10	5,7	5,0	1,95	1074	110	47,3	4,56	0,9780	17,73	28,94	129,86
49	2	10-30	5,8	5,1	1,54	1271	62	26,7	2,37	0,5108	10,05	29,68	158,62
50	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
50	1	0-10	6,0	5,0	10,05	223	614	300,9	24,86	2,5800	30,73	118,02	967,76
50	2	10-30	6,1	5,3	11,63	198	728	356,7	28,03	1,4900	19,27	106,40	819,80
7002	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7002	1	0-10	3,9	3,5	*	1260	59	*	*	*	*	162,00	102,00
7002	2	60-100	4,5	4,5	*	*	*	*	*	*	*	174,00	42,00
7003	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7003	1	0-10	4,1	3,2	*	1272	56	*	*	*	*	117,00	18,00
7003	2	60-100	4,6	4,2	*	*	*	*	*	*	*	123,00	24,00
150037	0	-12,8-0	3,8	*	*	62	873	477,5	18,00	0,6000	*	*	*
150037	1	0-30	4,1	3,5	*	1316	53	25,8	0,90	0,0742	1,18	154,77	11,34
150037	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150039	0	-8,7-0	3,8	*	*	108	784	428,4	15,00	0,6000	*	*	*
150039	1	0-30	4,0	3,5	*	1300	56	23,0	1,26	0,1135	2,40	152,70	54,99
150039	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150040	0	-9,2-0	3,9	*	*	124	797	449,7	17,00	0,6000	*	*	*
150040	1	0-30	4,0	3,6	*	1337	49	21,1	0,94	0,0786	1,24	164,91	16,50
150040	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150042	0	-12,9-0	3,8	*	*	75	851	456,7	17,00	0,6000	*	*	*
150042	1	0-30	4,2	3,4	*	1266	63	28,7	1,13	0,0873	1,26	142,95	11,25
150042	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150043	0	-14,3-0	3,8	*	*	76	795	443,1	17,00	0,6000	*	*	*
150043	1	0-30	4,2	3,8	*	1506	21	8,8	0,50	0,0611	1,14	91,80	37,50
150043	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150075	0	-8,6-0	4,1	*	*	128	776	452,0	15,00	0,5000	*	*	*
150075	1	0-30	3,8	3,0	*	1175	82	38,8	1,52	0,0917	1,74	172,83	6,06
150075	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150076	0	-9-0	4,1	*	*	111	657	382,5	17,00	0,5000	*	*	*
150076	1	0-30	4,0	3,3	*	1203	74	29,3	1,56	0,1223	2,30	196,38	13,26
150076	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150205	0	-11,5-0	3,8	*	*	108	716	411,5	15,00	0,6000	*	*	*
150205	1	0-30	4,0	3,4	*	1285	59	28,9	1,10	0,0699	1,03	148,86	18,51
150205	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150214	0	-8,7-0	4,0	*	*	176	718	393,1	19,00	0,6000	*	*	*
150214	1	0-30	4,1	3,6	*	1256	65	31,0	1,29	0,0917	1,65	237,99	17,46
150214	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150536	0	-9,7-0	3,8	*	*	89	746	394,8	18,00	0,7000	*	*	*
150536	1	0-30	3,8	3,5	*	1211	72	35,8	1,42	0,0917	1,54	150,96	27,72
150536	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150546	0	-7,3-0	3,8	*	*	130	638	338,0	12,00	0,5000	*	*	*
150546	1	0-30	3,9	3,0	*	1206	76	30,8	1,11	0,0917	1,51	99,36	12,69
150546	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*



Tabel B2 Vaste fase: CEC en uitwisselbare gehalten van de afzonderlijke kationen

LokNr	Lg	Diepte cm-my.	H <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Al <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Mn <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Ca <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Mg <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	Na <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	K <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	B.K. <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sub>uitw</sub> mmol.kg <sup>-1</sup>	CEC mmol.kg <sup>-1</sup>
1	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	1	0-10	8,38	6,18	4,28	3,21	71,35	10,17	1,67	6,53	89,72	*	111,77
1	2	10-30	7,85	4,06	0,75	0,35	41,37	1,32	0,83	1,17	44,69	*	57,70
2	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	1	0-10	40,81	0,00	0,18	4,05	162,46	3,34	0,46	0,96	167,22	*	212,26
2	2	10-30	41,97	0,00	0,24	5,29	220,07	4,40	0,51	1,29	226,27	*	273,77
3	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	1	0-10	10,72	2,55	0,20	5,48	49,01	2,43	0,76	1,06	53,26	*	72,21
3	2	10-30	4,78	2,68	0,11	1,57	31,11	0,61	0,36	0,29	32,37	*	41,51
4	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	1	0-10	0,00	0,00	1,35	7,91	336,10	7,48	1,83	3,27	348,68	*	357,94
4	2	10-30	44,04	0,00	1,38	5,37	378,22	7,75	1,50	1,78	389,25	*	440,04
5	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	1	0-10	17,07	3,74	2,27	1,22	66,94	3,15	1,07	1,79	72,95	*	97,25
5	2	10-30	13,83	2,26	2,50	1,13	81,08	2,92	0,96	1,10	86,06	*	105,78
6	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	1	0-10	33,30	0,26	4,64	5,71	332,75	7,28	2,70	3,18	345,91	*	389,82
6	2	10-30	29,32	0,23	12,45	5,98	369,02	8,68	3,32	2,05	383,07	*	431,05
7	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	1	0-10	13,55	8,76	3,88	1,59	31,81	3,96	1,26	2,28	39,31	*	67,09
7	2	10-30	6,26	6,27	1,90	0,90	34,85	3,11	0,77	0,92	39,65	*	54,98
8	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	1	0-10	27,41	0,00	2,59	7,84	519,16	14,93	5,41	5,32	544,82	*	582,66
8	2	10-30	81,75	0,00	7,46	7,84	497,59	16,44	2,71	1,32	518,06	*	615,11
9	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	1	0-10	15,87	0,17	0,77	1,49	194,84	6,24	1,06	3,07	205,21	*	223,51
9	2	10-30	6,55	0,00	0,33	0,61	267,55	9,32	0,00	1,76	278,63	*	286,12
10	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	1	0-30	0,00	0,00	19,51	3,09	465,07	22,28	4,51	3,15	495,01	*	517,61
10	2	30-60	0,00	0,00	35,74	5,05	506,76	23,83	3,04	0,00	533,63	*	574,42
11	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	1	0-10	13,30	7,85	1,19	4,48	59,28	3,89	0,79	1,66	65,62	*	92,44
11	2	10-30	6,32	5,82	0,79	0,99	29,77	0,74	0,00	0,19	30,70	*	44,62
12	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
12	1	0-10	5,32	2,79	0,48	0,93	20,84	1,90	0,31	0,71	23,76	*	33,28
12	2	10-30	5,80	1,46	0,19	0,45	23,41	0,54	0,00	0,15	24,10	*	32,00
13	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
13	1	0-30	23,83	12,35	3,36	0,03	3,02	0,97	0,19	0,43	4,61	*	44,18
13	2	30-60	4,03	18,29	1,09	0,01	0,52	0,16	0,33	0,22	1,23	*	24,65
14	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
14	1	0-10	7,83	3,59	0,91	2,61	57,61	8,86	0,79	2,02	69,28	*	84,22
14	2	10-30	10,50	3,39	0,38	1,53	48,37	7,30	0,29	1,15	57,11	*	72,91
15	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	1	0-30	7,30	4,50	0,98	2,68	60,81	8,72	1,17	3,01	73,71	*	89,17
15	2	30-60	12,40	0,00	0,01	0,78	73,27	14,29	1,29	3,38	92,23	*	105,42
16	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
16	1	0-10	141,44	54,36	21,05	0,27	53,53	29,50	3,91	6,67	93,61	*	310,73
16	2	10-30	150,76	30,00	19,67	0,10	92,07	69,47	5,74	1,70	168,98	*	369,51
17	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17	1	0-10	23,52	34,10	3,19	0,02	3,42	1,34	0,53	0,76	6,05	*	66,88
17	2	10-30	12,65	31,43	0,56	0,00	0,56	0,18	0,13	0,11	0,98	*	45,62
18	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
18	1	0-30	8,53	24,54	3,74	0,04	1,67	0,52	0,42	0,47	3,08	*	39,93
18	2	30-60	0,00	12,18	0,49	0,01	0,36	0,17	0,38	0,21	1,12	*	13,80
19	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19	1	0-10	22,58	15,04	3,35	0,01	3,84	1,61	0,51	1,51	7,47	*	48,45
19	2	10-30	15,10	28,69	1,51	0,00	0,88	0,26	0,41	0,31	1,86	*	47,16
20	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	1	0-30	21,73	18,96	5,86	0,05	1,20	1,32	0,17	1,57	4,26	*	50,86
20	2	30-60	7,63	25,75	3,33	0,01	0,18	0,41	0,03	0,69	1,31	*	38,03
21	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
21	1	0-10	13,91	14,23	3,66	0,12	5,36	1,63	0,57	1,09	8,65	*	40,57
21	2	10-30	7,40	17,84	1,61	0,02	1,29	0,48	0,15	0,26	2,18	*	29,05

LokNr	Lg	Diepte cm-mv.	H <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Al <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Mn <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Ca <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Mg <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Na <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	K <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	B.K. <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	CEC mmol,kg <sup>-1</sup>
22	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
22	1	0-30	13,34	10,98	3,61	0,03	1,16	0,56	0,28	0,57	2,57	*	30,53
22	2	30-60	1,32	10,55	1,28	0,01	0,28	0,13	0,11	0,23	0,75	*	13,91
23	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
23	1	0-10	8,66	21,07	4,13	0,02	1,43	0,83	0,40	1,00	3,66	*	37,54
23	2	10-30	5,32	21,07	1,62	0,01	0,25	0,17	0,01	0,24	0,67	*	28,69
24	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
24	1	0-10	200,34	46,58	16,17	0,60	70,39	38,42	7,09	6,64	122,54	*	386,23
24	2	10-30	238,95	16,40	9,11	0,26	78,22	64,73	8,27	3,70	154,92	*	419,64
25	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25	1	0-10	129,66	53,22	13,66	0,35	51,31	41,35	4,86	5,18	102,70	*	299,59
25	2	10-30	148,40	33,20	14,46	0,24	86,13	87,23	10,20	3,04	186,60	*	382,90
26	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
26	1	0-10	4,96	8,61	0,70	1,66	26,18	1,92	0,49	0,89	29,48	*	45,41
26	2	10-30	0,00	23,25	2,10	0,75	29,26	0,67	0,12	0,04	30,09	*	56,19
27	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
27	1	0-10	3,51	20,66	2,55	0,47	12,59	1,26	0,10	0,46	14,41	*	41,60
27	2	10-30	6,66	16,69	1,28	0,14	27,30	1,30	0,06	0,04	28,70	*	53,47
28	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
28	1	0-30	8,46	12,23	2,63	0,01	0,82	0,42	0,04	0,34	1,62	*	24,95
28	2	30-60	0,32	9,31	0,52	0,01	0,16	0,12	0,08	0,17	0,53	*	10,69
29	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	1	0-10	189,89	82,75	26,77	1,11	39,44	11,66	0,99	2,97	55,06	*	355,58
29	2	10-30	158,09	46,77	21,12	0,37	56,82	26,50	1,54	2,63	87,49	*	313,84
30	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30	1	0-10	238,60	48,79	24,08	0,13	73,26	72,98	7,41	4,05	157,70	*	469,30
30	2	10-30	187,68	48,27	23,17	0,19	51,38	47,40	6,37	7,39	112,54	*	371,85
31	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
31	1	0-30	17,44	40,99	3,09	0,01	1,40	0,85	0,79	0,59	3,63	*	65,16
31	2	30-60	5,44	28,69	0,37	0,01	0,32	0,18	0,59	0,15	1,24	*	35,75
32	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
32	1	0-10	7,30	6,49	1,15	1,91	29,18	5,58	0,69	1,73	37,18	*	54,03
32	2	10-30	5,21	7,85	0,61	1,15	34,64	4,18	0,44	0,61	39,87	*	54,69
33	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
33	1	0-10	8,75	1,01	0,72	3,25	64,25	4,46	0,49	1,54	70,74	*	84,47
33	2	10-30	6,72	0,57	0,94	1,54	62,69	1,86	0,19	0,13	64,87	*	74,64
34	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
34	1	0-30	5,30	0,00	0,02	0,40	48,91	5,43	0,35	1,20	55,89	*	61,61
34	2	30-60	0,79	0,33	0,05	0,12	13,90	1,93	0,32	1,33	17,48	*	18,77
35	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
35	1	0-30	12,24	0,00	0,35	1,16	126,05	12,60	2,45	1,68	142,78	*	156,53
35	2	30-60	10,28	0,00	0,02	0,70	83,73	9,15	1,42	1,40	95,70	*	106,70
36	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
36	1	0-10	9,10	18,78	1,21	0,53	14,85	1,69	0,75	1,27	18,56	*	48,18
36	2	10-30	5,06	26,91	0,94	0,06	11,31	0,58	0,41	0,07	12,37	*	45,34
37	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
37	1	0-30	23,79	20,55	2,30	0,02	2,54	1,56	0,56	0,51	5,17	*	51,83
37	2	30-60	7,56	51,26	0,73	0,01	1,22	0,50	0,35	0,46	2,53	*	62,09
38	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
38	1	0-30	4,66	38,19	26,33	0,08	8,93	2,42	2,05	1,48	14,88	*	84,14
38	2	30-60	2,12	24,49	3,98	0,01	3,30	0,56	1,34	0,48	5,68	*	36,28
39	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
39	1	0-30	12,13	23,01	3,01	0,08	5,03	0,68	0,30	0,00	6,01	*	44,24
39	2	30-60	0,00	14,02	0,64	0,01	1,82	0,16	0,24	0,18	2,40	*	17,07
40	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
40	1	0-10	24,60	5,99	1,66	0,04	4,84	2,19	0,31	1,08	8,42	*	40,71
40	2	10-30	55,66	0,66	1,31	0,00	1,20	0,47	0,29	0,00	1,96	*	59,59
41	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
41	1	0-10	147,30	0,00	0,20	5,49	280,11	21,64	1,87	7,06	310,68	*	463,67
41	2	10-30	25,92	0,00	0,24	3,68	545,08	24,93	0,04	2,81	572,86	*	602,70
42	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
42	1	0-30	17,02	39,01	1,62	0,06	2,34	0,56	0,37	0,53	3,80	*	61,51
42	2	30-60	1,84	23,70	0,23	0,01	4,37	0,25	0,51	0,18	5,31	*	31,09
43	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
43	1	0-10	71,87	0,00	0,80	4,88	584,57	34,75	0,00	5,51	624,83	*	702,38
43	2	10-30	52,54	0,00	1,18	3,19	715,13	32,59	0,00	2,00	749,72	*	806,63

LokNr	Lg	Diepte cm-mv.	H <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Al <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Mn <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Ca <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Mg <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	Na <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	K <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	B.K. <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sub>utw</sub> mmol,kg <sup>-1</sup>	CEC mmol,kg <sup>-1</sup>
44	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
44	1	0-30	8,21	34,13	2,66	0,03	1,87	0,64	0,47	0,63	3,61	*	48,64
44	2	30-60	0,00	11,70	0,26	0,01	0,51	0,13	0,31	0,22	1,17	*	13,14
45	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
45	1	0-10	25,59	1,14	0,17	4,35	41,31	11,08	0,82	2,83	56,04	*	87,29
45	2	10-30	13,49	0,52	0,04	2,10	29,81	9,49	0,78	2,23	42,31	*	58,46
46	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
46	1	0-30	0,53	4,56	0,42	0,69	6,29	1,27	0,14	3,06	10,76	*	16,96
46	2	30-60	4,16	2,01	0,23	0,62	11,78	2,16	0,02	5,09	19,05	*	26,07
47	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
47	1	0-10	164,89	0,00	3,15	9,82	272,97	37,27	1,81	7,05	319,10	*	496,96
47	2	10-30	28,58	0,00	3,84	5,96	391,80	31,44	3,72	4,35	431,31	*	469,69
48	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
48	1	0-30	9,26	9,97	2,86	0,01	0,82	0,43	0,47	0,30	2,02	*	24,12
48	2	30-60	0,86	10,94	1,77	0,01	0,43	0,27	0,41	0,21	1,32	*	14,90
49	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
49	1	0-10	21,66	1,09	0,64	3,17	50,44	6,88	0,83	2,32	60,47	*	87,03
49	2	10-30	15,27	0,28	0,19	1,44	44,48	3,89	0,26	0,62	49,25	*	66,43
50	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
50	1	0-10	40,95	0,00	2,46	5,22	522,19	30,31	15,75	8,26	576,51	*	625,14
50	2	10-30	69,62	0,00	2,03	1,83	816,04	28,03	5,24	3,86	853,17	*	926,65
7002	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7002	1	0-10	15,60	*	*	*	0,30	0,10	0,00	0,10	0,50	*	14,80
7002	2	60-100	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7003	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7003	1	0-10	14,60	*	*	*	1,40	0,10	0,00	0,00	1,50	*	13,10
7003	2	60-100	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150037	0	0	177,20	17,46	5,60	1,15	116,03	39,40	14,10	14,71	184,24	17,86	403,51
150037	1	0-30	14,43	34,55	1,17	0,00	0,71	0,29	0,07	0,11	1,18	0,29	52,00
150037	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150039	0	0	142,78	25,67	8,93	1,11	80,28	23,65	8,27	12,99	125,19	18,45	322,13
150039	1	0-30	9,41	28,10	2,51	0,01	0,63	0,31	0,15	0,19	1,28	0,38	42,00
150039	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150040	0	0	145,45	20,60	8,05	1,29	82,35	24,13	11,59	13,51	131,58	30,73	337,70
150040	1	0-30	7,33	31,57	0,94	0,01	0,83	0,42	0,33	0,21	1,79	0,59	42,00
150040	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150042	0	0	175,06	21,99	7,04	1,34	110,63	34,61	8,95	14,55	168,74	16,74	390,91
150042	1	0-30	14,11	33,85	1,42	0,00	0,38	0,26	0,14	0,12	0,90	0,33	51,00
150042	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150043	0	0	175,82	19,69	8,18	2,02	98,22	37,12	11,43	15,43	162,20	17,35	385,26
150043	1	0-30	4,83	15,65	1,05	0,01	0,37	0,20	0,17	0,26	1,00	0,15	23,00
150043	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150075	0	0	157,88	18,93	5,76	1,20	74,38	24,64	10,42	13,23	122,67	28,45	334,89
150075	1	0-30	23,65	45,24	1,05	0,01	0,84	0,34	0,35	0,26	1,79	0,66	72,00
150075	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150076	0	0	132,00	10,78	5,50	2,64	116,63	38,85	6,12	12,49	174,09	12,06	337,07
150076	1	0-30	13,54	43,56	1,57	0,02	0,98	0,64	0,26	0,54	2,42	0,30	61,00
150076	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150205	0	0	158,43	26,81	16,52	1,58	103,88	30,34	10,33	14,00	158,55	15,29	377,18
150205	1	0-30	12,59	38,23	1,82	0,01	1,40	0,48	0,26	0,44	2,58	0,32	56,00
150205	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150214	0	0	109,29	17,93	9,83	3,34	122,46	36,01	5,79	14,16	178,42	13,99	332,79
150214	1	0-30	6,63	45,27	1,37	0,02	2,26	0,75	0,17	0,62	3,80	0,39	57,00
150214	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150536	0	0	129,25	22,76	7,78	1,16	82,99	17,67	10,82	15,34	126,82	22,44	310,21
150536	1	0-30	11,03	31,52	1,47	0,01	0,17	0,36	0,61	0,28	1,42	0,57	46,00
150536	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150546	0	0	101,24	11,94	9,49	3,21	70,11	21,65	6,57	13,85	112,18	12,71	250,77
150546	1	0-30	28,54	25,54	1,58	0,07	4,25	0,86	0,30	0,63	6,04	0,57	62,00
150546	2	30-60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabel B3 Grondwater: pH, EGV en ion-concentraties

Lok	pH (-)	EGV mS.m <sup>-1</sup>	Si mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	Al mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	Fe mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	Ca mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	Mg mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	K mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	Na mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	NH <sub>4</sub> mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	Mn mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	NO <sub>3</sub> mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	Cl mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	cSO <sub>4</sub> mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> mol <sub>e</sub> .m <sup>-3</sup>
1	5.80	0,315	0,362	0,018	0,005	2,172	0,075	0,038	0,245	0,016	0,000	1,437	0,886	0,470	0,001
2	5,40	0,278	1,457	0,003	0,317	2,708	0,266	0,004	0,058	0,004	0,011	0,002	0,255	0,553	0,002
3	4,70	0,150	0,345	0,051	0,020	0,979	0,102	0,010	0,170	0,010	0,028	0,013	0,327	0,712	0,002
4	5,50	0,144	1,276	0,003	0,033	1,286	0,150	0,010	0,083	0,012	0,004	0,002	0,299	0,047	0,004
5	5,50	0,315	1,016	0,030	3,027	2,088	0,255	0,030	0,151	0,124	0,051	0,023	1,342	0,464	0,002
6	5,90	0,217	1,301	0,003	0,033	1,181	0,164	0,054	0,133	0,009	0,000	0,003	0,434	0,138	0,003
7	5,30	0,199	0,937	0,011	0,065	0,511	0,250	0,015	0,247	0,004	0,008	0,002	1,060	0,670	0,001
8	6,00	0,355	1,407	0,000	0,165	3,073	0,416	0,008	0,179	0,006	0,015	0,003	1,097	0,085	0,004
9	6,00	0,381	1,447	0,003	0,124	3,310	0,544	0,021	0,163	0,045	0,009	0,008	0,381	0,221	0,000
10	5,40	0,440	2,178	0,004	0,005	2,836	0,339	0,015	0,333	0,034	0,005	0,002	2,676	1,831	0,004
11	4,60	0,096	0,746	0,014	0,119	0,514	0,254	0,006	0,063	0,003	0,007	0,001	0,202	0,511	0,000
12	4,80	0,088	0,775	0,019	0,000	0,315	0,049	0,005	0,055	0,003	0,000	0,049	0,135	0,259	0,001
13	5,39	0,300	0,993	0,003	0,508	0,505	0,385	0,026	0,380	0,015	0,024	0,022	1,289	1,407	0,000
14	5,70	0,290	0,919	0,003	0,000	1,699	0,437	0,008	0,173	0,004	0,000	0,002	0,274	0,911	0,002
15	5,80	0,270	0,732	0,007	0,011	1,459	0,419	0,012	0,206	0,002	0,000	0,070	0,564	1,093	0,005
16	5,49	0,095	0,158	0,027	0,011	0,018	0,008	0,015	0,204	0,004	0,000	0,023	0,316	0,429	0,004
17	4,40	0,109	0,349	0,133	0,081	0,057	0,054	0,014	0,141	0,006	0,000	0,001	0,491	0,467	0,005
18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19	4,10	0,057	0,422	0,062	0,005	0,030	0,017	0,008	0,093	0,005	0,000	0,003	0,226	0,246	0,001
20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
21	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
22	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
23	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
24	3,60	0,135	0,292	0,501	0,044	0,192	0,325	0,072	0,185	0,175	0,000	0,015	0,587	0,541	0,020
25	3,80	0,102	0,117	0,150	0,052	0,177	0,188	0,050	0,185	0,087	0,000	0,008	0,567	0,296	0,018
26	4,80	0,108	0,229	0,077	0,011	0,502	0,065	0,015	0,166	0,005	0,000	0,048	0,364	0,358	0,021
27	5,61	0,074	0,370	0,136	0,011	0,172	0,026	0,210	0,092	0,039	0,000	0,009	0,278	0,241	0,024
28	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	4,00	0,082	0,895	0,207	0,025	0,145	0,165	0,123	0,125	0,039	0,000	0,012	0,336	0,315	0,023
30	3,80	0,103	0,179	0,165	0,051	0,103	0,149	0,029	0,251	0,014	0,000	0,013	0,494	0,418	0,021
31	4,20	0,371	1,467	1,148	0,021	0,591	0,344	0,031	0,553	0,012	0,013	0,004	2,239	1,470	0,009
32	4,60	0,147	0,766	0,451	0,017	0,727	0,215	0,018	0,154	0,006	0,000	0,247	0,440	0,563	0,011
33	5,60	0,152	1,104	0,029	0,091	0,879	0,136	0,012	0,107	0,007	0,007	0,016	2,905	0,212	0,006
34	5,60	0,959	0,328	0,007	0,005	6,397	1,893	0,450	0,340	0,013	0,004	10,268	0,646	1,016	0,000
35	6,30	0,298	1,167	0,001	0,000	2,258	0,240	0,018	0,154	0,006	0,000	0,050	0,465	0,952	0,000
36	3,25	*	0,184	0,000	0,077	0,090	0,044	0,024	0,030	0,020	0,000	0,215	0,129	0,153	0,017
37	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
38	4,40	0,805	2,722	0,464	0,573	3,021	0,985	0,024	1,076	0,009	0,000	0,007	3,412	4,913	0,001
39	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
40	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
41	6,30	0,420	1,164	0,012	0,100	4,253	0,418	0,014	0,115	0,042	0,013	0,005	0,307	0,361	0,014
42	4,10	0,417	1,182	1,967	0,041	0,814	0,393	0,082	0,345	0,021	0,012	2,009	0,942	1,320	0,019
43	5,84	0,371	0,977	0,027	0,057	3,513	0,352	0,012	0,124	0,034	0,007	0,032	0,316	1,522	0,014
44	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
45	6,30	0,435	1,074	0,001	0,000	1,912	0,938	0,016	0,492	0,017	0,000	0,010	0,784	2,386	0,015
46	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
47	5,90	0,475	1,501	0,022	1,461	4,483	0,758	0,037	0,161	0,468	0,015	0,006	0,499	0,842	0,025
48	3,90	0,296	2,352	0,667	0,092	0,691	0,373	0,037	0,351	0,020	0,004	0,691	1,241	0,765	0,001
49	5,70	0,369	1,359	0,031	0,365	2,910	0,419	0,026	0,200	0,049	0,036	0,005	0,522	0,995	0,021
50	5,50	0,345	0,907	0,012	0,048	3,527	0,315	0,008	0,060	0,021	0,004	0,005	0,220	0,813	0,001
7002	4,46	*	*	0,567	*	0,329	0,559	0,049	0,826	*	*	0,906	0,790	0,645	*
7003	4,39	*	*	0,701	*	0,145	0,214	0,038	0,826	*	*	0,137	0,902	0,853	*
150037	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150039	4,25	0,222	*	1,140	*	0,070	0,100	0,030	0,480	0,000	*	0,360	0,600	0,890	*
150040	4,00	0,424	*	1,560	*	0,280	0,740	0,030	0,930	0,010	*	1,080	1,200	1,520	*
150042	4,41	0,140	*	0,490	*	0,070	0,080	0,050	0,340	0,000	*	0,040	0,390	0,560	*
150043	4,54	0,239	*	0,310	*	0,380	0,490	0,030	0,750	0,000	*	0,210	0,690	1,110	*
150075	4,26	0,337	*	1,680	*	0,260	0,480	0,030	0,890	0,000	*	0,230	0,870	2,170	*
150076	4,21	0,192	*	0,450	*	0,100	0,220	0,030	0,420	0,000	*	0,030	0,720	0,460	*
150205	4,39	0,167	*	0,640	*	0,060	0,110	0,030	0,410	0,000	*	0,090	0,520	0,690	*
150214	4,74	0,216	*	0,080	*	0,250	0,830	0,080	0,530	0,000	*	0,340	0,540	0,870	*
150536	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150546	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

**Table B4 Groundwater: resultaten van de berekeningen met MAION**

LOK	Op basis van HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -concentratie uit ionenbalans								Stuyfzand	Op basis van HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -concentratie uit MAION								
	pH <sub>nat</sub>	rLi	rAl	rTh	rMo	PLi	PAI	PTH		pH <sub>nat</sub>	HCO <sub>3</sub>	rLi	rAl	rTh	rMo	PLi	PAI	PTH
1	*	47	1	24	54	37,1	62,7	0,1	F*CaCl	8,16	1,182	82	-22	16	50	37,1	62,7	0,1
2	7,74	93	-42	-2	20	46,9	53,0	0,0	g2CaHCO3	7,80	2,239	92	-41	0	22	46,9	53,0	0,0
3	9,02	48	24	-11	20	16,6	83,4	0,0	g*CaSO4	9,16	0,245	42	27	-10	21	16,6	83,4	0,0
4	8,34	89	-46	-12	16	22,0	77,9	0,0	g1CaHCO3	8,35	1,193	89	-46	-12	17	22,0	77,9	0,0
5	7,68	86	-38	-1	24	35,3	64,4	0,2	F2CaHCO3	8,39	0,729	63	-8	17	54	35,3	64,4	0,2
6	8,47	92	-42	6	37	20,1	79,9	0,1	g1CaHCO3	8,48	0,966	92	-41	6	38	20,1	79,9	0,1
7	*	-13	61	6	42	7,9	91,9	0,2	F*CaCl	*	0,000	-13	61	6	42	7,9	91,9	0,2
8	7,68	93	-46	9	38	52,8	47,1	0,2	F2CaHCO3	7,71	2,508	92	-45	9	39	52,8	47,1	0,2
9	7,52	98	-54	9	28	57,4	42,6	0,0	g2CaHCO3	7,54	3,452	98	-53	10	29	57,4	42,6	0,0
10	*	23	35	27	58	47,5	52,0	0,5	F*CaCl	*	0,000	23	35	27	58	47,5	52,0	0,5
11	9,35	40	22	-25	-2	8,6	91,4	0,0	g*CaSO4	9,62	0,155	25	32	-22	0	8,6	91,4	0,0
12	10,73	22	41	-9	19	5,1	94,9	0,0	G*CaSO4	10,32	0,047	28	38	-10	19	5,1	94,9	0,0
13	*	-18	71	26	46	7,7	92,1	0,2	F*CaSO4	*	0,000	-18	71	26	46	7,7	92,1	0,2
14	8,28	83	-19	14	34	29,3	70,7	0,0	g1CaMix	8,28	1,142	83	-19	14	34	29,3	70,7	0,0
15	8,82	47	20	14	38	24,9	75,1	0,1	g*CaSO4	8,75	0,448	50	18	14	38	24,9	75,1	0,1
16	*	-41	90	-6	18	-0,2	100,2	0,0	g*NaSO4	*	0,000	-41	90	-6	18	-0,2	100,2	0,0
17	*	-39	85	-6	19	0,4	99,6	0,1	g*NaCl	*	0,000	-39	85	-6	19	0,4	99,6	0,1
18	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
19	*	-50	95	-19	3	0,1	99,9	0,0	g*H2SO4	*	0,000	-50	95	-19	3	0,1	99,9	0,0
20	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
21	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
22	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
23	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
24	9,48	9	41	-27	-5	2,7	97,3	0,1	g0MgMix	*	0,000	-53	81	-14	2	2,7	97,3	0,1
25	10,06	-27	63	-25	13	2,4	97,5	0,1	g*MgCl	*	0,000	-45	71	-18	14	2,4	97,5	0,1
26	9,99	20	45	-14	29	8,2	91,7	0,1	g*CaMix	10,17	0,044	17	46	-13	29	8,2	91,7	0,1
27	10,13	-7	35	-30	0	2,5	97,5	0,0	g*K_Mix	*	0,000	-33	49	-22	3	2,5	97,5	0,0
28	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	9,96	-10	53	-44	-15	2,0	98,0	0,1	g*MgMix	11,33	0,010	-56	77	-29	-8	2,0	98,0	0,1
30	*	-54	90	-17	10	1,2	98,8	0,1	g*MgCl	*	0,000	-54	90	-17	10	1,2	98,8	0,1
31	*	-16	63	32	58	8,5	91,1	0,4	F*CaCl	*	0,000	-16	63	32	58	8,5	91,1	0,4
32	9,13	46	25	-13	24	12,1	87,8	0,1	g*CaMix	9,52	0,140	27	37	-9	25	12,1	87,8	0,1
33	*	-10	33	-9	31	13,1	86,4	0,5	F*CaCl	*	0,000	-10	33	-9	31	13,1	86,4	0,5
34	*	52	-27	79	76	111,3	-11,4	0,1	g*CaSO4	6,99	7,461	92	-53	64	65	111,3	-11,4	0,1
35	8,14	81	-16	10	35	38,9	61,0	0,1	g1CaMix	8,12	1,261	82	-17	9	35	38,9	61,0	0,1
36	10,02	81	-16	10	35	1,2	98,8	0,0	G*H2HCO3	9,87	0,470	82	-17	9	35	1,2	98,8	0,0
37	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
38	*	15	39	68	75	50,3	49,1	0,6	F*CaSO4	*	0,000	15	39	68	75	50,3	49,1	0,6
39	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
40	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
41	7,36	97	-51	9	29	74,0	26,0	0,0	g3CaHCO3	7,37	4,148	97	-51	10	29	74,0	26,0	0,0
42	*	11	40	68	74	13,3	86,5	0,2	F*CaSO4	*	0,000	11	40	68	74	13,3	86,5	0,2
43	7,71	85	-23	9	29	61,0	39,0	0,0	g2CaHCO3	7,72	2,175	84	-22	9	30	61,0	39,0	0,0
44	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
45	9,06	23	36	39	47	32,6	67,2	0,1	g*CaSO4+	9,01	0,204	23	36	39	47	32,6	67,2	0,1
46	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
47	7,20	97	-50	9	26	77,9	22,1	0,0	g3CaHCO3	7,36	4,116	97	-47	16	35	77,9	22,1	0,0
48	*	-4	51	35	63	11,0	88,8	0,2	F*CaCl	*	0,000	-4	51	35	63	11,0	88,8	0,2
49	7,74	94	-34	12	34	50,3	49,6	0,1	g2CaHCO3	7,82	2,052	91	-31	15	38	50,3	49,6	0,1
50	7,58	93	-41	4	25	61,3	38,7	0,0	g2CaHCO3	7,59	2,892	93	-40	4	25	61,3	38,7	0,0
7002	10,65	93	-41	4	25	4,9	95,0	0,1	g*MgCl+	9,46	0,372	93	-40	4	25	4,9	95,0	0,1
7003	10,51	93	-41	4	25	1,6	98,2	0,2	F*NaMix	*	0,000	93	-40	4	25	1,6	98,2	0,2
150037	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
150039	11,26	-32	84	23	40	0,5	99,4	0,1	g*NaSO4	*	0,000	-34	84	24	39	0,5	99,4	0,1
150040	*	-17	56	60	66	3,8	96,0	0,2	F*MgSO4	*	0,000	-17	56	60	66	3,8	96,0	0,2
150042	10,77	-35	88	0	24	0,6	99,3	0,1	g*NaSO4	*	0,000	-43	89	2	24	0,6	99,3	0,1
150043	*	-30	76	13	34	5,9	94,0	0,1	g*MgSO4+	*	0,000	-30	76	13	34	5,9	94,0	0,1
150075	10,06	-24	76	26	33	3,7	96,2	0,1	F*NaSO4	*	0,000	-27	77	26	33	3,7	96,2	0,1
150076	10,66	-33	70	17	48	0,9	98,9	0,1	g*NaCl	*	0,000	-38	72	18	47	0,9	98,9	0,1
150205	*	-41	88	8	29	0,4	99,5	0,1	g*NaSO4	*	0,000	-41	88	8	29	0,4	99,5	0,1
150214	10,57	-36	53	8	16	3,7	96,2	0,1	g*MgSO4+	9,66	0,310	-20	46	5	16	3,7	96,2	0,1
150536	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
150546	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*





LOK	Lg	Diepte cm-mv.	pH (-)	EGV mS.m <sup>-1</sup>	Si mol.m <sup>-3</sup>	Al mol.m <sup>-3</sup>	Fe mol.m <sup>-3</sup>	Ca mol.m <sup>-3</sup>	Mg mol.m <sup>-3</sup>	K mol.m <sup>-3</sup>	Na mol.m <sup>-3</sup>	NH <sub>4</sub> mol.m <sup>-3</sup>	Mn mol.m <sup>-3</sup>	NO <sub>3</sub> mol.m <sup>-3</sup>	Cl mol.m <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> mol.m <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> mol.m <sup>-3</sup>	rCOO mol.m <sup>-3</sup>	%W (% DS)	
44	0	*	3,84	0,211	0,175	0,092	0,027	0,238	0,169	0,312	0,347	0,445	0,008	0,407	0,578	0,385	0,045	*	152,22	
44	1	0-30	3,58	*	1,296	0,734	0,042	0,669	0,424	0,192	0,742	0,236	0,009	1,132	0,980	0,757	0,000	*	24,940	
44	3	60-100	3,77	*	1,134	2,158	0,027	0,615	0,521	0,093	1,433	0,074	0,014	1,774	2,549	1,175	0,005	*	6,698	
45	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
45	1	0-10	4,73	*	0,959	0,081	0,283	0,817	0,319	0,077	0,262	0,072	0,050	0,214	0,468	0,680	0,028	*	43,049	
45	3	30-60	4,56	*	1,321	0,375	0,477	0,536	0,288	0,114	0,351	0,078	0,000	0,054	0,361	0,826	0,023	*	23,827	
46	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
46	1	0-30	4,11	*	0,862	0,145	0,013	3,716	1,696	3,708	0,807	0,495	0,391	9,075	0,973	1,051	0,019	*	13,755	
46	3	60-100	3,88	*	0,477	0,145	0,000	3,257	1,157	0,627	0,467	0,170	0,441	5,173	0,959	0,163	0,010	*	11,410	
47	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
47	1	0-10	7,14	0,200	0,550	0,033	0,064	1,646	0,425	0,118	0,279	0,241	0,044	0,020	0,691	0,566	0,002	*	194,80	
47	3	30-60	6,70	0,192	0,748	0,022	0,064	1,136	0,219	0,087	0,243	0,428	0,006	0,010	0,471	0,638	0,005	*	378,20	
48	0	*	3,65	*	1,001	0,142	0,052	0,307	0,207	0,210	0,628	0,891	0,006	0,761	0,815	0,667	0,106	*	206,17	
48	1	0-30	3,36	*	1,761	0,714	0,071	0,426	0,380	0,086	0,974	0,297	0,000	0,668	0,790	0,970	0,030	*	20,977	
48	3	60-100	3,57	*	2,615	0,785	0,054	0,813	0,441	0,084	0,883	0,063	0,011	0,718	1,325	1,238	0,023	*	16,061	
49	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
49	1	0-10	6,24	0,157	0,537	0,022	0,121	0,888	0,182	0,027	0,285	0,064	0,036	0,056	0,671	0,612	0,000	*	66,003	
49	3	30-60	6,28	0,153	2,201	0,052	0,142	0,936	0,141	0,035	0,304	0,056	0,009	0,009	0,629	0,561	0,000	*	37,453	
50	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
50	1	0-10	5,90	0,184	0,630	0,063	0,064	1,323	0,168	0,032	0,249	0,056	0,015	0,333	0,533	0,790	0,002	*	209,62	
50	3	30-60	6,54	0,136	0,748	0,022	0,089	1,153	0,087	0,025	0,167	0,104	0,000	0,019	0,367	0,604	0,002	*	402,76	
7002	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7002	1	0-10	3,74	*	0,944	0,655	0,024	0,195	0,273	0,140	0,940	0,270	0,009	0,437	1,276	0,622	0,001	0,214	19,200	
7002	3	60-100	4,18	*	0,896	0,319	0,030	0,132	0,144	0,056	0,947	0,104	0,087	0,289	0,673	0,711	0,009	0,176	7,910	
7003	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7003	1	0-10	3,58	*	0,876	0,553	0,020	0,232	0,193	0,143	0,607	0,185	0,004	0,229	0,816	0,616	0,003	0,227	20,420	
7003	3	60-100	4,18	*	0,939	0,196	0,026	0,202	0,112	0,064	0,657	0,070	0,008	0,131	0,595	0,596	0,000	0,158	14,060	
150205	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150205	1	0-30	3,65	*	0,969	0,634	0,013	0,257	0,206	0,138	0,435	0,201	0,002	0,371	1,286	0,674	0,004	0,149	*	
150205	3	60-100	4,11	*	0,919	0,467	0,132	0,240	0,177	0,090	0,837	0,087	0,005	0,271	1,120	0,594	0,000	0,445	*	
150214	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150214	1	0-30	3,80	*	0,899	0,472	0,011	0,208	0,216	0,243	0,554	0,059	0,002	0,252	0,914	0,495	0,004	0,156	*	
150214	3	60-100	4,04	*	1,285	0,348	0,057	0,131	0,303	0,109	0,587	0,068	0,003	0,253	0,840	0,587	0,002	0,052	*	
150037	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150037	1	0-30	3,45	*	0,947	0,489	0,011	0,277	0,189	0,102	0,859	0,249	0,000	0,206	1,246	0,692	0,004	0,196	*	
150037	3	60-100	3,89	*	0,976	0,406	0,081	0,235	0,140	0,070	0,728	0,073	0,004	0,120	1,058	0,553	0,000	0,076	*	
150039	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150039	1	0-30	4,02	*	0,762	1,029	0,030	0,354	0,296	0,159	1,543	0,338	0,005	0,314	1,794	1,301	0,000	0,362	*	
150039	3	60-100	3,59	*	0,997	0,751	0,062	0,327	0,185	0,090	1,174	0,121	0,007	0,271	1,613	0,939	0,000	0,234	*	
150040	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150040	1	0-30	3,37	*	1,332	1,824	0,024	0,584	0,617	0,179	1,087	1,264	0,009	0,758	2,569	2,779	0,000	0,205	*	
150040	3	60-100	3,61	*	1,232	2,859	0,397	0,324	0,391	0,217	0,783	0,124	0,018	1,863	2,061	1,802	0,000	0,095	*	
150042	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150042	1	0-30	3,65	*	0,933	0,451	0,005	0,142	0,132	0,077	0,685	0,147	0,000	0,054	1,058	0,556	0,000	0,226	*	
150042	3	60-100	4,03	*	1,061	0,395	0,054	0,384	0,111	0,083	0,696	0,119	0,009	0,057	0,959	0,817	0,000	0,150	*	
150043	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150043	1	0-30	3,66	*	1,724	0,779	0,035	0,454	0,325	0,205	1,174	0,222	0,007	0,758	1,633	0,757	0,003	0,274	*	
150043	3	60-100	4,07	*	1,026	0,462	0,013	0,394	0,263	0,121	0,891	0,096	0,007	0,434	1,224	0,609	0,000	0,263	*	
150536	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150536	1	0-30	3,32	*	1,339	4,349	0,032	0,576	0,678	0,179	2,565	0,599	0,007	1,677	3,412	4,459	0,000	0,263	*	
150536	3	60-100	3,60	*	1,047	4,739	0,269	0,551	0,703	0,096	1,783	0,068	0,013	2,177	2,214	3,998	0,000	0,090	*	
150546	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150546	1	0-30	3,35	*	0,427	0,323	0,021	0,417	0,160	0,171	0,370	0,056	0,007	0,193	1,292	0,512	0,022	0,162	*	
150546	3	60-100	3,74	*	1,246	0,406	0,242	0,222	0,115	0,096	0,587	0,100	0,011	0,279	0,911	0,438	0,006	0,422	*	
150075	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150075	1	0-30	3,34	*	0,661	0,902	0,013	0,320	0,259	0,179	0,957	0,920	0,004	0,390	1,836	1,833	0,002	0,111	*	
150075	3	60-100	3,57	*	1,298	1,905	0,215	0,207	0,199	0,109	1,163	0,202	0,016	0,627	1,968	1,762	0,000	0,091	*	
150076	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
150076	1	0-30	3,66	*	0,627	0,403	0,013	0,150	0,187	0,224	0,598	0,118	0,001	0,113	1,010	0,523	0,005	0,130	*	
150076	3	60-100	4,01	*	1,033	0,408	0,144	0,085	0,131	0,077	0,674	0,071	0,005	0,048	0,925	0,638	0,000	0,009	*	



## Aanhangsel C Significantie van de verschillen tussen de 1994- en de 1990/92-metingen

Tabel C1 Significantie (P-waarde) van de verschillen tussen de vaste fase-opnamen in 1990/92 en 1994, met vermelding van het jaar met de hoogste waarden (O='oud'=1990/92; N='nieuw'=1994); *vet* bij  $P < 0,1$ , *vet+onderstreept* bij  $P < 0,001$

Variabele	Laag 0		Laag 1		Variabele	Laag 0		Laag 1	
LD	0,439	O	-	-	Fe <sub>ox</sub>	-	-	0,950	O
OS	<b>0,015</b>	N	0,331	O	P <sub>ox</sub>	-	-	0,258	N
Rho	<b>0,000</b>	<u>N</u>	0,533	N	Al <sub>ox</sub> voor	-	-	<b>0,000</b>	<u>O</u>
O.S.-voorr.	0,502	N	0,430	O	Fe <sub>ox</sub> voor	-	-	0,848	N
C <sub>tot</sub>	-	-	0,247	O	P <sub>ox</sub> voor	-	-	0,111	N
C(OS)	-	-	0,206	O	P/(Al+Fe) <sub>ox</sub>	-	-	<b>0,000</b>	<u>N</u>
N <sub>tot</sub>	<b>0,051</b>	O	0,513	O	P <sub>ox</sub> /P <sub>tot</sub>	-	-	0,904	N
N(OS)	0,188	N	0,719	N	pH(H <sub>2</sub> O)	<b>0,089</b>	N	0,211	N
P <sub>tot</sub>	<b>0,088</b>	O	0,241	N	pH(KCl)	-	-	0,802	N
P(OS)	0,321	N	<b>0,032</b>	N	CEC	-	-	0,381	O
Nvoor	0,463	N	0,664	O	CEC(OS)	-	-	0,653	O
Pvoor	0,378	N	<b>0,048</b>	N	CEC voor	<b>0,000</b>	<u>O</u>	0,360	O
C/N	-	-	0,444	O	fH <sub>uit</sub>	-	-	0,985	O
C/P	-	-	<b>0,023</b>	O	fAl <sub>uit</sub>	-	-	0,544	O
N/P	0,746	O	<b>0,014</b>	O	fBC <sub>uit</sub>	-	-	<b>0,018</b>	N
Al <sub>ox</sub>	-	-	<b>0,000</b>	<u>O</u>					

Tabel C2 Significantie (P-waarde) van de verschillen tussen de grondwater-opnamen in 1990/92 en 1994, met vermelding van het jaar met de hoogste waarden (O='oud'=1990/92; N='nieuw'=1994); *vet* bij  $P < 0,1$ ; *vet en onderstreept* bij  $P < 0,001$

Variabele	P-waarde		Variabele	P-waarde		Variabele	P-waarde	
pH	0,251	N	PO <sub>4</sub>	-	-	rLi	0,335	O
Ec	0,232	O	KAT	0,347	O	rAt	0,554	N
Si	-	-	AN	0,720	O	rTh	0,521	O
K	<b>0,006</b>	N	HCO <sub>3</sub>	0,333	O	rMo	0,798	O
Na	0,398	O	HCO <sub>3</sub> (2)	<b>0,013</b>	O	PLi	0,420	O
Ca	0,857	O	SO <sub>4</sub> (Cl)	0,116	O	PAt	0,423	N
Mg	<b>0,092</b>	O	Mg (Cl)	<b>0,034</b>	O	PTh	0,343	N
Al	0,901	O	K (Cl)	<b>0,094</b>	N	pH(sat) (2)	0,262	?
Fe	-	-	Na (Cl)	<b>0,034</b>	O	rLi (2)	0,126	O
Mn	-	-	NH <sub>4</sub> /NO <sub>3</sub>	<b>0,000</b>	<u>N</u>	rAt (2)	0,354	N
NH <sub>4</sub>	<b>0,005</b>	N	NH <sub>4</sub> /K	<b>0,036</b>	N	rTh (2)	0,790	O
Cl	0,387	N	Al/Ca	0,934	N	rMo (2)	0,919	O
NO <sub>3</sub>	0,250	O	IR	0,441	O			
SO <sub>4</sub>	0,314	O	pH(sat)	0,271	O			

Tabel C3 Significantie (P-waarde) van de verschillen tussen de bodemvocht-opnamen in 1990/92 en 1994, met vermelding van het jaar met de hoogste waarden (O='oud'=1990/92; N='nieuw'=1994); vet bij  $P < 0,1$ , vet+onderstreept bij  $P < 0,001$

Variabele	Laag 0		Laag 1		Laag 3		Lok.-gemiddelde	
pH	0,622	N	0,878	O	0,608	N	0,785	N
Ca	<b>0,001</b>	N	<b>0,002</b>	N	<b>0,040</b>	N	<b>0,001</b>	N
K	<b>0,011</b>	N	0,269	N	<b>0,022</b>	N	<b>0,048</b>	N
Al	0,100	O	0,164	O	0,767	O	0,687	O
NH <sub>4</sub>	0,173	N	0,342	N	0,640	N	0,695	N
NO <sub>3</sub>	0,209	N	0,809	N	<b>0,053</b>	N	0,180	N
SO <sub>4</sub>	0,144	O	0,121	O	0,987	N	0,356	O
Cl	0,989	N	0,173	O	0,751	N	0,890	O
H (Cl)	<b>0,094</b>	N	<b>0,037</b>	N	<b>0,015</b>	N	<b>0,024</b>	N
Ca (Cl)	<b>0,004</b>	N	<u><b>0,000</b></u>	<u>N</u>	<b>0,036</b>	N	<u><b>0,000</b></u>	<u>N</u>
K (Cl)	<b>0,022</b>	N	<b>0,015</b>	N	<b>0,038</b>	N	<b>0,020</b>	N
Al (Cl)	<b>0,048</b>	O	0,526	O	0,645	O	0,680	O
NH <sub>4</sub> (Cl)	0,217	N	<b>0,098</b>	N	0,845	N	0,664	N
NO <sub>3</sub> (Cl)	0,183	N	0,696	N	<b>0,061</b>	N	0,213	N
SO <sub>4</sub> (Cl)	0,116	O	0,953	O	0,738	O	0,446	O
NH <sub>4</sub> /NO <sub>3</sub>	0,873	O	0,792	O	0,102	O	0,516	O
NH <sub>4</sub> /K	0,369	O	0,696	N	<b>0,091</b>	O	0,162	O
Al/Ca	<b>0,007</b>	O	<b>0,017</b>	O	0,276	O	0,091	O