

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

Staatsbosbeheer

DE CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN HET
BOVENSTE GRONDWATER BIJ NATUURLIJKE BEGROEIINGEN
OP KALKARME ZANDGROND (MRT.'78)

ing. H.P. Oosterom
J.H.W.M. van Schijndel

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	2
3. PERCEELSBESCHRIJVING	3
4. BESPREKING VAN RESULTATEN	5
4.1. Gehalten in het grondwater	5
4.2. Statistische verwerking van de resultaten	10
4.3. Statistische beschouwingen van de resultaten	13
5. SLOTBESCHOUWING	19
6. LITERATUUR	20
BIJLAGEN (1 t/m 7)	21

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

In natuurgebieden wordt de uitspoeling van voedingsstoffen bepaald door de ionenaanvoer via de neerslag, het vastleggend of leverend vermogen van het bodemsysteem en de opname door begroeiing. De uitspoeling in deze natuurgebieden is te beschouwen als basis uitspoeling voor reeds in cultuurgenomen gronden van hetzelfde bodemtype. Onderzoek op dit gebied is binnen en buiten Nederland slechts op beperkte schaal uitgevoerd, zij het dan nog voor macro-ionen. Een onderzoek van het Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland met 4 grote lysimeters, gevuld met kalkrijk duinzand, geven enig inzicht in de chemische samenstelling van het drainwater van verschillende begroeiingen. TOLLENAAR (1972) heeft de inspoeling en uitspoeling over het tijdvak 1946-1952 beschreven voor de onbegroeide en de met dennen beplante lysimeter.

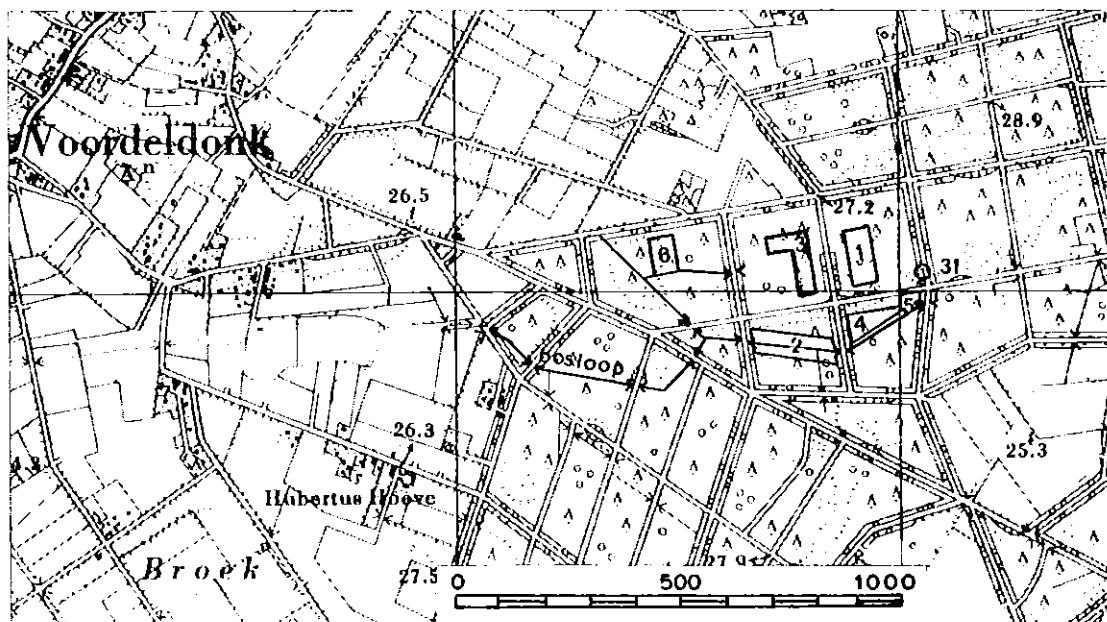
Uit onderzoekingen verricht door het I.C.W. op graslandpercelen, bleek dat binnen eenzelfde perceel belangrijke verschillen in de chemische samenstelling van het bovenste grondwater kunnen voorkomen, met name nitraat (VAN DER HEYDEN, 1977). Voor natuurlijke begroeiingen lijkt het daarom eveneens zinvol om meerdere monsters verspreid over het perceel te nemen, zodat de resultaten representatief zouden zijn binnen de grenzen van de statistische betrouwbaarheid. In deze nota zijn de resultaten verwerkt van een dergelijk onderzoek, uitgevoerd in maart 1978 in een bosgebied op kalkarme zandgrond, waarbij het onderzoek met name gericht is geweest op de relatie van begroeiing/ grondwaterstand en het nitraat-, fosfaat-, kalium-, calcium, magnesium-, chloride- en natriumgehalte in het bovenste grondwater. Het onderzoek is mogelijk geworden door de medewerking van de Dienst Openbare Werken van de gemeente Asten.

2. OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

Om de gehalten in het grondwater statistisch te kunnen verwerken moeten de natuurlijke omstandigheden binnen het onderzoeksobject dezelfde zijn. Gezocht is naar een beperkt oppervlak, waarbinnen verschillende begroeiingen met voldoende omvang aanwezig zijn, waardoor de kans op verschillen in bodemsamenstelling gering is. Bij een oriënterend onderzoek in het bosgebied bij Voordeldonk (Gemeente Asten) bleek een oppervlakte aanwezig, die grotendeels aan deze eis voldeed. In een aanéengesloten oppervlak (fig. 1) werden de volgende percelen aangetroffen met vermelding van de waterstand in het voorjaar:

1. oud naaldhoutbos (2,25 m -mv)
2. " " (1,00 ")
3. jong " (1,50 ")
4. pijpestrootje (0,65 ")
5. loofhout (0,80 ")
6. " met venige bovengrond (0,60 m -mv)

Fig. 1. Overzichtskaartje van het bosgebied bij Voordeldonk (Gemeente Asten), waarin aangegeven de ligging van de onderzochte percelen en grondwaterstandsbuis 31



Om met een zekere betrouwbaarheid de afwijkingen van de gehalten in het grondwater binnen een perceel vast te kunnen stellen moet een groot aantal monsters genomen worden. Om technische redenen is dit aantal gesteld op 24. De bemonstering is uitgevoerd volgens de 'boorgaten methode'. Nadat het boorgat volgelopen is met water, wordt er een monster uitgenomen. Na bezinking van het meegekomen zand wordt het water afgeschonken. Op deze wijze kan 1 persoon in één dag één perceel bemonsteren. De verrichte analyses in de monsters staan vermeld in tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de uitgevoerde bepalingen in het grondwater van de percelen 1 t/m 6

Perceel:	1	2	3	4	5	6	
Analyse: Cl	+	+	+	+	+	+	
NO ₃	+	+	+	+	+	+	
tot.P	+	+	-	+	-	-	(-) bepaling niet uitgevoerd)
Ca	+	+	-	+	-	-	
Mg	+	+	-	+	-	-	
Na	+	+	-	+	-	-	
K	+	+	-	+	-	-	
SO ₄ *	+	+	+	+	+	+	*Bepaald in mengmonster
EC	+	+	+	+	+	+	

3. PERCEELSBESCHRIJVING

In tabel 2 staan de gegevens van de desbetreffende percelen vermeld. De perceelsnummering correspondeert met de nummering in fig.1. Het oude naaldhoutbos bestaat hoofdzakelijk uit vliegdennen (40-60 jaar oud) evenals het jonge naaldhoutbos (circa 6 jaar oud) met als onderbegroeiing nog plaatselijk heide. Het loofhout bestaat uit Amerikaanse eiken (40 à 60 jaar oud).

Tabel 2. Gegevens van de percelen, waar het grondwateronderzoek is uitgevoerd

Per- ceels- nr.	Begroeiing	Actuele grwst. (m -mv)	Boom- ontrek* (m)	Boom- afstand (m)	pH grond- water	Bemonsterings- opper- vlak (ha)	datum
1	oud naaldhout	2,25(2,00-2,50)	0,55	3,00	4,0	0,6	15/3/78
2	" "	1,00(0,95-1,05)	0,60	3,20	3,9	0,8	13/3/78
3	jong "	1,50(1,00-2,00)	0,13	1,60	4,5	0,5	20/3/78
4	pijpestrootje	0,65(0,60-0,70)	-	-	4,2	0,9	28/3/78
5	loofhout	0,85(0,75-1,00)	0,75	4,90	3,7	0,3	22/3 en 30/3/78
6	loofhout (ve- nige bovengr.)	0,60(0,50-0,75)	0,80	3,40	3,8	0,5	"

*gemeten op circa 1,50 m hoogte

Aan de hand van de profiel opbouw (bijlage 1) is de bodem op de hogere gedeelten geclassificeerd als een haarpodzol. In de lage gedeelten langs de bosloop is sprake van een laarpodzol. Het moerige perceel met loofhout is aangeduid als een dampodzol. De ondergrond van de totale oppervlakte bestaat uit kalkloos, leemarm tot zwak lemig fijn zand (STIBOKA, 1968). De gemeten pH-waarden in het grondwater (tabel 1) duiden eveneens op een kalkarme ondergrond.

De hoogte van het maaiveld varieert van 26,00 m tot 27,50 m +NAP. Door het WATERSCHAP DE AA (1978) is gedurende enkele jaren het peil in buis 31 (fig. 1) opgenomen. De waterstand varieerde tussen 24,45 en 25,22 m +NAP (bijlage 2). Het verschil tussen de G.H.G. en G.L.G. bedraagt circa 70 cm. Tijdens de bemonstering was er sprake van een hoge grondwaterstand.

4. BESPREKING VAN RESULTATEN

4.1. Gehaltes in het grondwater

In tabel 3 staan de gemiddelde gehalten vermeld in het bovenste grondwater van de onderzochte percelen.

Tabel 3. Gehaltes in het bovenste grondwater van een natuurlijk gebied met een kalkarme zandondergrond, waarvan de begroeiing en de grondwaterstand plaatselijk verschillen (bemonsteringsperiode: maart 1978)

Begroeiing	Oud naald- hout	Oud naald- hout	Jong naald- hout	Pijpe- strootje	Loof- hout	Loofhout (venige bodem)
Grondwaterst. (A.G.) (m -mv)	2,25	1,00	1,50	0,65	0,85	0,60
<u>Analyse:</u>						
Cl (mg.l ⁻¹)	25	69	9	9	26	19
NO ₃ (mg.N l ⁻¹)*	22	13	0,2	0,7	1,1	19,6
tot.-P (mg.P l ⁻¹)	0,08	0,12	-	0,06	-	-
Ca (mg.l ⁻¹)	7,8	14	-	4,3	-	-
Mg "	2,9	13	-	0,65	-	-
Na "	13	31	-	5,5	-	-
K "	3,0	2,3	-	0,7	-	-
SO ₄ "	144	417	63	45	166	160
E.C. (mmho.cm ⁻¹ bij 25°C)	0,49	0,89	0,17	0,15	0,38	0,54

*1 mg NO₃.l⁻¹ = 0,22 mg NO₃-N.l⁻¹

De gehalten kunnen tussen de percelen onderling (tabel 3) en per perceel (bijlage 3 t/m 7) sterk uiteenlopen. De hoogste waarde voor chloride wordt aangetroffen onder het perceel naaldhout met hoge grondwaterstand. Chloride is een inert element, dat met de neerslag wordt aangevoerd en met dezelfde snelheid als het regenwater door de bodem percoleert. Het chloridegehalte in het regenwater wordt in het algemeen bepaald door de afstand tot de kust (DE RIDDER, 1978) met voor Asten waarden van ca. 3 à 4 mg.l⁻¹. Tevens worden de gehalten

beïnvloed door industriële lozingen, zodat voor Asten 4 à 5 mg.Cl l⁻¹ aannemelijk lijkt. Incidenteel zijn deze concentraties ook aangetroffen in het grondwater van het perceel pijpestrootje en jong naaldhout.

De gemiddelde gehalten liggen echter wel hoger evenals bij de overige begroeiingen. Uit het reeds genoemde lysimeter onderzoek te Castricum is gebleken, dat de lysimeter met ingeplante dennen in een later stadium relatief minder water ging afvoeren en dat daarmee het zoutgehalte steeg. Het is dan ook aannemelijk te veronderstellen, dat de concentraties in hoge mate bepaald worden door de jaarlijkse neerslag en het neerslagoverschot. Voor alle percelen is de neerslag gelijk, terwijl de grootte van de verdamping bepaald wordt door de begroeiing. De verdamping is te onderscheiden in transpiratie en interceptie. Het laatste is vooral van invloed bij bomen en dichte struiken, hetgeen betekent dat kleine regenbuien (<2 mm) de bodem niet bereiken. Bij grotere buien kan het dan voorkomen dat de concentraties in het water dat de bodem bereikt aanvankelijk hoger liggen dan in het regenwater. Over een tijdvak van een jaar genomen zal het chloride gehalte in het regenwater en de verhouding tussen de hoeveelheid neerslag en de afvoer naar het grondwater over deze periode bepalend zijn voor het chloride gehalte in het grondwater.

Anders gezegd: de verhouding van het chloridegehalte in het regenwater en grondwater geeft een aanwijzing over de grootte van de verdamping bij een bekende hoeveelheid neerslag.

Vervolgens blijkt uit het onderzoek dat bij eenzelfde begroeiingstype de vochthuishouding eveneens de verdamping beïnvloedt, gelet op het chloridegehalte van de 2 percelen oud naaldhout met een gemiddelde grondwaterstand van 1,00 en 2,25 m -mv. Bij loofhout met eenzelfde grondwaterstand als naaldhout zal de verdamping lager liggen, waardoor eveneens het chloridegehalte lager ligt. In het Cultuurtechnisch Vademecum (CULTUURTECHNISCHE VERENIGING) worden voor loofhout en naaldhout de jaarlijks gemiddelde actuele verdamping genoemd: respectievelijk 475 en 650 mm. Voor pijpestrootje lijkt de verdamping van dezelfde grootte orde als voor landbouwgewassen (gemiddeld circa 350 mm per jaar bij een neerslag van 750 mm). De verhouding [Cl]-regenwater/[Cl]-grondwater bedraagt bij pijpestrootje circa 0,5. Derhalve zijn de mineraalgehalten onder deze

begroeiing het meest geschikt als uitgangspunt voor de basis-uitspoeling bij het maken van een stoffenbalans voor een gebied met een overeenkomstig profiel.

Door het 'verdampingseffect' zal echter niet alleen de chloride concentratie toenemen, maar ook die van andere elementen die in ionvorm via regenwater aangevoerd worden. Uitgevoerde regressie berekeningen tonen aan dat naarmate het totaal zoutgehalte hoger is, het gehalte aan calcium, chloride, natrium, sulfaat en magnesium eveneens regelmatig toenemen. Ook voor totaal-fosfaat is een goed verband aanwezig. De P-gehalten in de 3 onderzochte percelen liggen echter vrij laag. Voor nitraat en kalium is de correlatie minder goed (tabel 4). NO_3 is vooral intensief betrokken bij biochemische processen, terwijl het K-niveau zeer laag is, waardoor de concentraties elkaar overlappen (zie tabel 8).

Tabel 4. Lineaire regressie van het totaal-zoutgehalte (mmho.cm^{-1} , 25°C) en mineralen in het grondwater van de percelen 1 t/m 5

x	y	Regressielijn (r=correlatie-coëff.)	n=aantal percelen
mmho.cm^{-1}	Cl	$y = 83,3 x - 7$ ($r = 0,98$);	n = 5
	$\text{NO}_3\text{-N}$	$= 47,6 x - 12$ ($= 0,68$);	= 5
	Ca	$= 13,6 x + 2$ ($= 0,99$);	= 3
	Mg	$= 18,3 x - 4$ ($= 0,95$);	= 3
	Na	$= 36,5 x - 2$ ($= 0,98$);	= 3
	K	$= 4,9 x - 1$ ($= 0,65$);	= 3
	SO_4	$= 500 x - 43$ ($= 0,97$);	= 3
	tot.-P	$= 0,12x + 0,04$ ($= 0,99$);	= 3

Ook is het niet uit te sluiten, dat naarmate de groeiomstandigheden gunstiger zijn (zie percelen oud naalddhout) de uitspoeling geringer wordt. Ook zal een vegetatief sterk groeiend gewas als pijpestrootje en jonge dennen een grotere stikstofbehoefte hebben dan een houtopstand in de afstervingsfase. Op het perceel loofhout met venige bovengrond

is de uitspoeling van nitraat mogelijk te verklaren door het effect van mineralisatie in de zomermaanden. Met name in de voorgaande jaren '75 en '76 is er weinig neerslag gevallen, terwijl er voor 1976 door het KNMI een hoge E_o waarde berekend is, tengevolge van de warme zomer (tabel 5). Een na-effect van de droge jaren op de gehalten mag verondersteld worden. De stikstofgehalten op zich zeggen weinig. Met behulp van een eenvoudige waterbalans-berekening (tabel 5) kan enig inzicht verkregen worden in de N-uitspoeling. Gerekend over 1975 t/m 1978 is de totale neerslag 1985 mm geweest. In de 2 droge jaren zal voor een sterk verdampend gewas (bijv. een dicht bos), groeiend op een bodem met een goede vochtvoorziening, de actuele verdamping (E_r) gelijk gesteld kunnen worden aan de neerslag, terwijl in het derde jaar de neerslag groter is dan de verdamping, met als gevolg een neerslag overschot van 136 mm.

Tabel 5. De nuttige neerslag (NN), op eenvoudige wijze berekend over april '75 t/m april '78 uit de neerslag (N), en de verdamping van een vrij wateroppervlak (E_o), opgemeten door KNMI-station Gemert. (Voor de E_p van een dicht bos is 1,0 E_o aangenomen)

Tijdvak	april 1975 - april 1976	april 1976 - april 1977	april 1977 - april 1978
N (mm)	606	555	824 = 1985
E_o (mm)	674	803	688 = 2165
E_r (mm)	606	555	688
NN=N- E_r (mm)	geen	geen	136

Voor het perceel oud naaldhout met hoge grondwaterstand kan de nuttige neerslag gelijkgesteld worden aan de berekende hoeveelheid, dit is 136 mm. Dit impliceert dat het chloridegehalte in het grondwater vele malen hoger zal liggen dan in het regenwater. Het is als volgt te berekenen:

$$[Cl]_{\text{regenw.}} \times N(\text{mm}) = [Cl]_{\text{grondw.}} \times NN(\text{mm})$$

ðf

$$5 \times 1985 = c \times 136$$

$$c = 73 \text{ mg Cl.l}^{-1}$$

Deze berekende concentratie ligt in de lijn van de gemeten concentratie n.l. 69 mg.l^{-1} . Aan de hand van het chloride gehalte in het regenwater en grondwater van de andere percelen, is het nu mogelijk om de nuttige neerslag van elk perceel te benaderen en daaruit de afgevoerde hoeveelheid stikstof te kwantificeren (tabel 6).

Tabel 6. Stikstof uitspoeling (kg.N), berekend over april '75 - april '78 met behulp van het chloridegehalte in regen- en grondwater (mg.l^{-1}) en de totale hoeveelheid neerslag over deze periode (1985 mm)

	Chloridegehalte regenw./grondw.	Nuttige neerslag (mm)	$\text{NO}_3\text{-N}$ gehalte (Nmg.l^{-1})	N-uitspoeling (Nkg.ha^{-1})
Perceel 1	$5,0/25,1 = 0,20$	$0,20 \times 1985 = 397$	21,5	85
2	$5,0/68,6 = 0,07$	$0,07 \times = 139$	12,7	18
3	$5,0/ 9,2 = 0,54$	$0,54 \times = 1072$	0,2	2
4	$5,0/ 9,1 = 0,55$	$0,55 \times = 1092$	0,61	7
5	$5,0/26,2 = 0,19$	$0,19 \times = 377$	1,2	5
6	$5,0/18,8 = 0,27$	$0,27 \times = 536$	19,5	105

De stikstofuitspoeling in tabel 6 is berekend over een periode van 3 jaar. De gemiddeld jaarlijkse N-uitspoeling is bij jonge dennen, pijpestrootje en loofhout (perceel 3, 4, 5) 1 à 2 kg.ha^{-1} . Voor oud naaldhout (perc. 1 en 2) varieert dit van 6 tot 28 kg N.ha^{-1} , waarbij gelet moet worden op de invloed van de grondwaterstand. Bij perceel 1 (diepe grondwaterstand) ligt het gehalte hoger en is de nuttige neerslag hoger, hetgeen resulteert in een hogere uitspoeling. Voor perceel 6, loofhout met venige bovengrond, bedraagt de jaarlijkse N-uitspoeling circa 35 kg N.ha^{-1} .

4.2. S t a t i s t i s c h e v e r w e r k i n g v a n d e r e s u l t a t e n

Om een uitspraak te doen omtrent de betrouwbaarheid van gemeten gehalten is het noodzakelijk dat risico's ten aanzien van onbetrouwbaarheid en nauwkeurigheid volgens de middelen der statistiek cijfermatig vastgelegd worden. Door uit een normale verdeling van concentraties één monster te nemen, kan men geen betrouwbaarheidsgrenzen aangeven. Door echter meerdere monsters te nemen kan het gemiddelde en de afwijking van de moederverdeling geschat worden. De gehalten in deze monsters zullen eveneens een normale verdeling te zien geven. Het gemiddelde gehalte van deze steekproef (\bar{x}) wordt berekend volgens:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

hierin is:

$\sum x$ = som van waarnemingen

n = aantal "

\bar{x} = gemiddelde

waarbij \bar{x} als het geschatte gemiddelde geldt voor het gemiddelde van de moederverdeling (μ). Bij herhalingen van de steekproef zal blijken dat het gemiddelde gehalte steeds binnen zekere grenzen van μ blijft. Om deze grenzen vast te stellen gaan we uit van de eigenschap van een normale verdeling, die luidt: de standaardafwijking van een moederverdeling is gelijk aan de standaardafwijking van een steekproef met een zeer groot aantal waarnemingen, gedeeld door de wortel uit het aantal waarnemingen (WIJVEKATE, 1970). In formule:

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

s = standaardafwijking van de steekproef

n = aantal waarnemingen (zeer groot)

σ = standaardafwijking van de moederverdeling.

De standaardafwijking van de steekproef (s) wordt berekend volgens de formule:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}} \quad (3)$$

x = waarneming (gemeten gehalte)

n = aantal waarnemingen (monsters)

Aangezien in het onderzoek het aantal waarnemingen beperkt is tot 24, wordt hieruit de eveneens geschatte standaard afwijking van de moederverdeling (S_x) berekend volgens (2):

$$S_x = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

De moederverdeling wordt nu bepaald door een schijnbaar gemiddelde (\bar{x}) en een schijnbare standaardafwijking (S_x), terwijl het werkelijke gemiddelde (μ) en de werkelijke standaardafwijking (σ) binnen zekere grenzen van de schatting moeten liggen.

De begrenzing van het gemiddelde (\bar{x}) wordt bepaald door de excentriciteit (u), waarvan de grootte afhankelijk is van de gewenste betrouwbaarheid:

$$\bar{x} = \mu \pm u \times \sigma \quad \text{of} \quad \mu = \bar{x} \pm u \times \sigma \quad (5)$$

Uit (2) en (5) volgt: $\mu = \bar{x} \pm u \times \frac{s}{\sqrt{n}}$.

In geval de exacte waarde van σ onbekend is, zal dit nadelig werken op de grenzen van de gemiddelde waarde. In zo'n geval worden de grenzen bepaald door de volgende formule (STICHTING STUDIE CENTRUM WEGENBOUW, 1970):

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{t \times s}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

De factor t in deze formule wordt afgelezen in tabel 7 en is afhankelijk van het aantal vrijheidsgraden (v) en de gewenste betrouwbaarheid. Het aantal vrijheidsgraden is gelijk aan het aantal monsters -1 , dus $v = n-1$. Bij een zeer groot aantal monsters is de factor t gelijk aan de excentriciteit u .

Tabel 7. Factoren t voor schatting van het gemiddelde van de moeder-
 verdeling bij onbekende standaardafwijking. $\mu = \bar{x} \pm (t.s)/\sqrt{n}$

Aantal vrijheids- graden v = n-1	Eenzijdige overschrijdingskans				
	7,5%	5%	2,5%	1%	0,5%
1		6,31	12,7	31,8	63,7
2		2,92	4,30	6,97	9,93
3		2,35	3,18	4,54	5,84
4		2,13	2,78	3,75	4,60
5		2,02	2,57	3,37	4,03
6		1,94	2,45	3,14	3,71
7		1,90	2,37	3,00	3,50
8		1,86	2,31	2,90	3,36
9		1,83	2,26	2,82	3,25
10		1,81	2,23	2,76	3,17
11		1,80	2,20	2,72	3,11
12		1,78	2,18	2,68	3,06
13		1,77	2,16	2,65	3,01
14		1,76	2,15	2,62	2,98
15		1,75	2,13	2,60	2,95
16		1,75	2,12	2,58	2,92
17		1,74	2,11	2,57	2,90
18		1,73	2,10	2,55	2,88
19		1,73	2,09	2,54	2,86
20		1,73	2,09	2,53	2,85
21		1,72	2,08	2,52	2,83
22		1,72	2,07	2,51	2,82
23	1,48	1,71	2,07	2,50	2,81
24		1,71	2,06	2,49	2,80
25		1,71	2,06	2,49	2,79
∞	1,44	1,64	1,96	2,33	2,58

V o o r b e e l d

G e g e v e n : Het chloridegehalte in 5 watermonsters bedraagt:

10, 7, 10, 12 en 6 mg.l^{-1} .

$\sigma = 0,5 \text{ mg.l}^{-1}$

G e v r a a g d: Tussen welke grenzen ligt het gemiddeld chloride-
 gehalte bij een betrouwbaarheid van 95% (éénzijdige
 overschrijdingskans 2,5%)

O p l o s s i n g :

Het gemiddeld chloridegehalte (\bar{x}) van de 5 watermonsters is 9 mg.l^{-1} .

De afwijking van het gemiddeld chloridegehalte kan berekend worden volgens (5)

$$\begin{aligned}\mu &= \bar{x} \pm u \text{ 95\% } \times \sigma \\ &= 9 \pm 1,96 \times 0,5 \\ &= 9 \pm 0,98\end{aligned}$$

De afwijking van het gemiddeld chloridegehalte bedraagt bij 95% betrouwbaarheid: $\pm 0,11 \bar{x}$.

Opmerking: Indien σ onbekend is, zal de standaardafwijking geschat moeten worden uit de steekproef volgens (3) en (6):

$$\begin{aligned}\mu &= \bar{x} \pm 2,78 \times 2,45/\sqrt{5} \\ \mu &= 9 \pm 3,05\end{aligned}$$

De afwijking op deze wijze berekend is dus vele malen groter. Een grotere steekproef geeft duidelijk betere informatie.

4.3. S t a t i s t i s c h e b e s c h o u w i n g e n v a n d e r e s u l t a t e n

De analyse resultaten vermeld in de bijlagen 3 t/m 7 zijn statistisch verwerkt op de wijze zoals in par. 4.2. is beschreven en weergegeven in tabel 8.

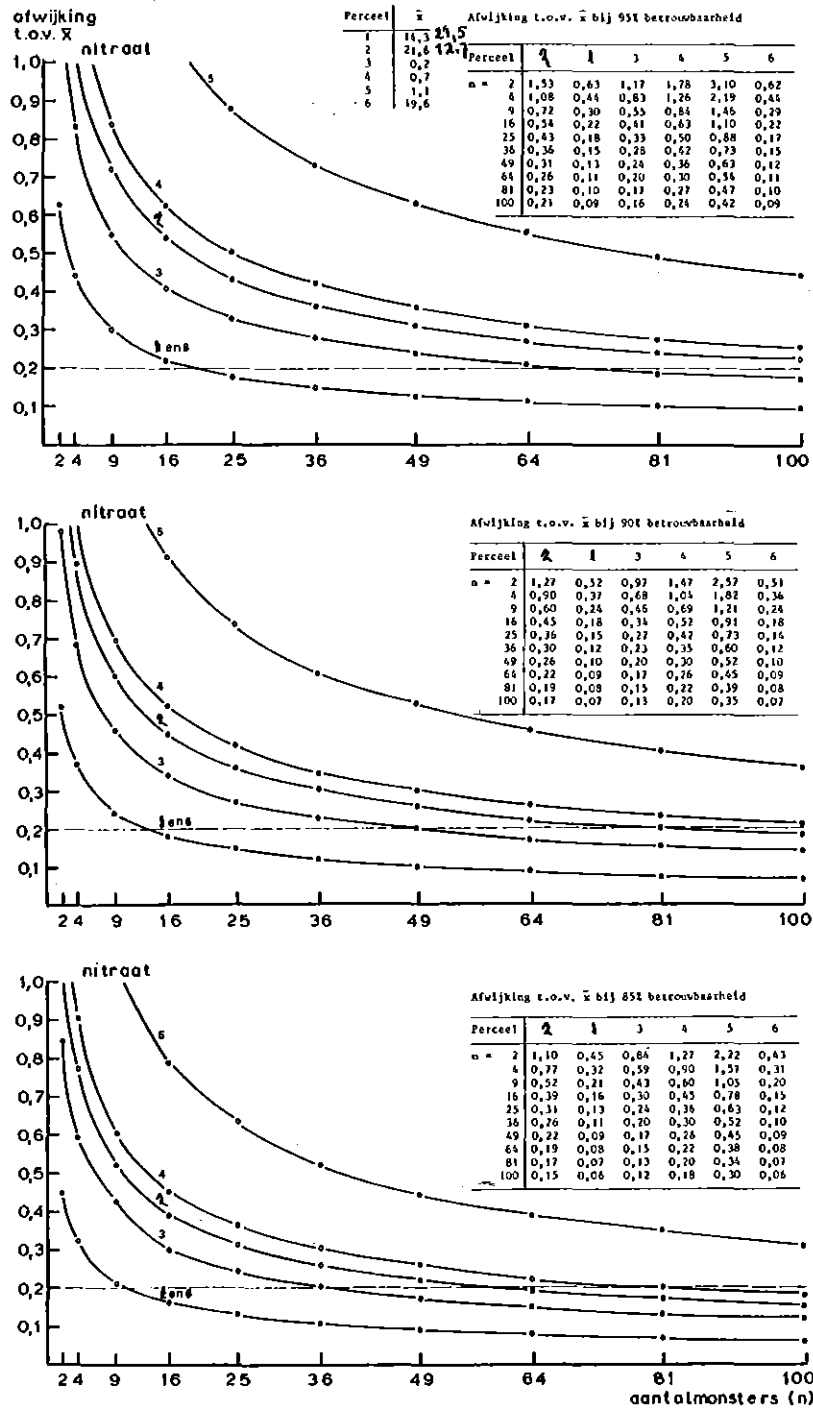
Bij een monsteraantal van 24 blijkt dat voor de meeste bepalingen, met uitzondering van nitraat, de afwijking bij 95% betrouwbaarheid binnen de grenzen van + of - 24% van het gemiddelde ligt. Het geleidingsvermogen vertoont de geringste afwijking ($\pm 20\%$). Bij nitraat komen per perceel grote verschillen in gehalten voor, waarbij slechts enkele waarden veel hoger liggen dan de andere, waardoor niet alleen de standaardafwijking maar ook het gemiddelde beïnvloed wordt. Een andere wijze om deze grote verschillen statistisch te benaderen vormt het mediaan-gemiddelde en de daarbij behorende standaardafwijking (WIJVEKATE, 1970). Het is echter niet zinvol om in dit verband hieraan aandacht te besteden. Een veronderstelling is,

Tabel 8. Gemiddelde (\bar{x}), standaardafwijking (Sx), éénzijdige afwijking in mg.l^{-1} (a) en in % ten opzichte van \bar{x} (ap) van gehalten in het grondwater onder natuurlijke begroeiingen bij 95% betrouwbaarheid, uitgaande van 24 monsters per perceel

Perceel		1.Oud	2.Oud	3. Jong	4.Pijpe-	5.Loof-	6.Loof-
		naaldhout	naaldhout	naaldhout	strootje	hout	hout
Bepaling		(A.G.2,25)	(A.G.1,00)	(A.G.1,50)	(A.G.0,65)		(venige bodem)
Nitraat	\bar{x} (mg.Nl^{-1})	21,5	12,7	0,20	0,61	1,2	19,5
	Sx "	1,9	2,7	0,16	0,15	0,51	1,7
	a "	3,9	5,6	0,07	0,31	1,07	3,4
	ap %	18	44	35	51	89	17
Chloride	\bar{x} (mg.l^{-1})	25,1	68,6	9,2	9,1	26,2	18,8
	Sx "	2,4	6,8	0,9	0,41	2,8	1,3
	a "	4,9	14,1	2,0	0,8	6,0	2,6
	ap %	20	21	22	9	23	14
Natrium	\bar{x} (mg.l^{-1})	13,5	31,1	-	5,5	-	-
	Sx "	1,1	3,1		0,15		
	a "	2,3	6,5		0,32		
	ap %	17	21		6		
Kalium	\bar{x} (mg.l^{-1})	2,9	2,3	-	0,65	-	-
	Sx "	0,3	0,2		0,06		
	a "	0,7	0,5		0,13		
	ap %	24	22		20		
Geleid. verm.	\bar{x} ($\mu\text{mho.cm}^{-1}$)	490	888	168	149	383	539
	Sx "	38	90	10	5,3	36	34
	a "	80	186	20	109	74	71
	ap %	16	21	12	7	19	13
Calcium	\bar{x} (mg.l^{-1})	7,8	13,9	-	4,3	-	-
	Sx "	0,5	1,4		0,21		
	a "	1,1	2,9		0,44		
	ap %	14	21		10		
Magnesium	\bar{x} (mg.l^{-1})	2,9	12,5	-	1,2	-	-
	Sx "	0,24	1,6		0,07		
	a "	0,5	3,2		0,15		
	ap %	17	26		13		
Totaal-fosfaat	\bar{x} (mg.Pl^{-1})	0,08	0,124	-	0,064		
	Sx "	0,008	0,001		0,003		
	a "	0,017	0,003		0,005		
	ap %	21	2		8		

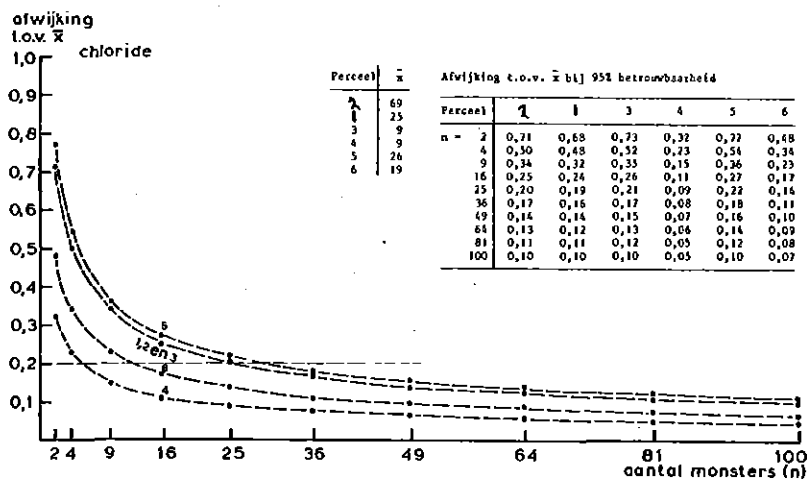
dat de grote verschillen veroorzaakt kunnen worden door de bemonsteringsmethode. In elk geval lijkt het erop dat voor een betrouwbaar beeld grote aantallen monsters nodig zijn binnen één perceel. Het verband tussen de afwijking, betrouwbaarheid en het monsteraantal is voor nitraat uitgezet in fig. 2. Naarmate de betrouwbaarheid afneemt wordt de afwijking geringer.

Fig. 2. Invloed van het aantal monsters op de nauwkeurigheid van de schatting van het gemiddelde nitraatgehalte (mg.N.l^{-1}) in het grondwater van elk perceel bij 95%, 90% en 85% betrouwbaarheid

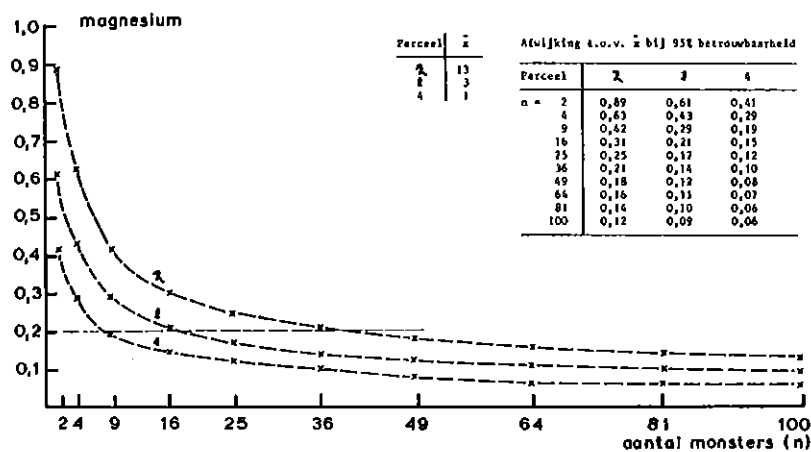
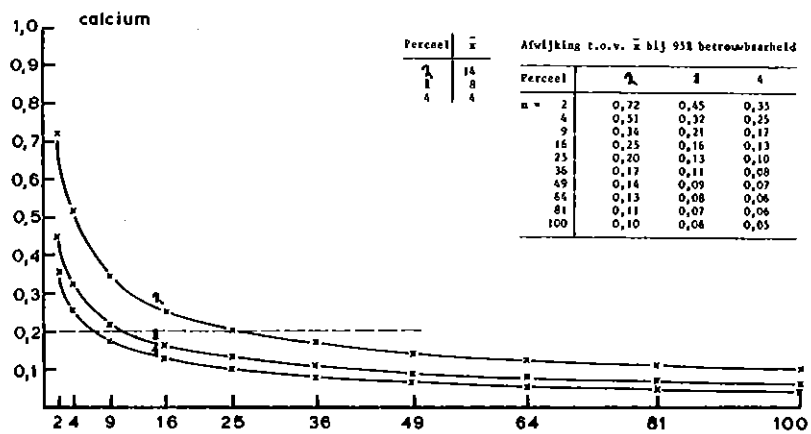
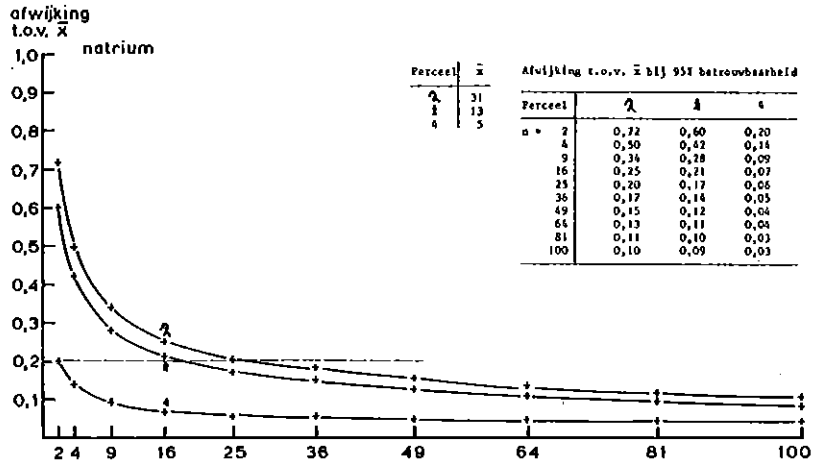


Voor de overige bepalingen is de invloed van het monsteraantal op de afwijking uitgezet in fig. 3. Tussen de percelen onderling is de tendens aanwezig, gelet op het totaal-zoutgehalte, dat naarmate het gemiddeld gehalte hoger ligt, de afwijkingen procentueel groter worden. Aangenomen mag worden dat dit representatief is voor alle ionen. Het totaal-fosfaat gedraagt zich echter averechts. In tegenstelling met nitraat blijven de afwijkingen binnen aanvaardbare grenzen. Gesteld kan worden dat bij een betrouwbaarheid van 95% de afwijkingen binnen de grenzen van $\pm 20\%$ van het gemiddelde zullen liggen. Om hieraan te voldoen, is het noodzakelijk dat voor een betrouwbaar beeld het aantal monsters minimaal 24 is.

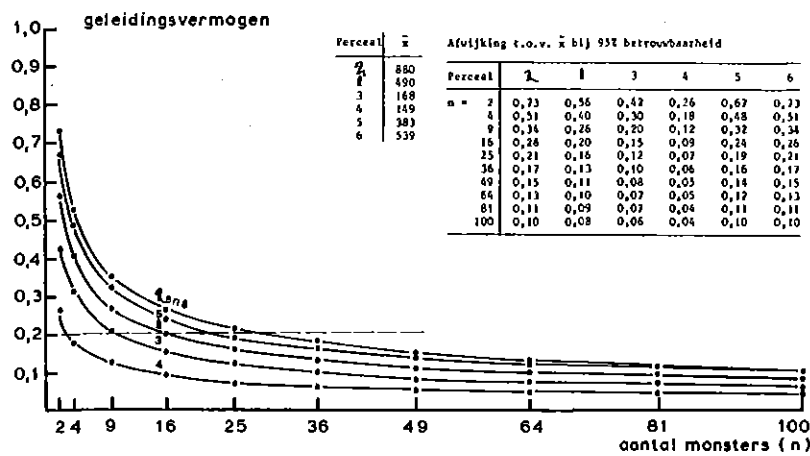
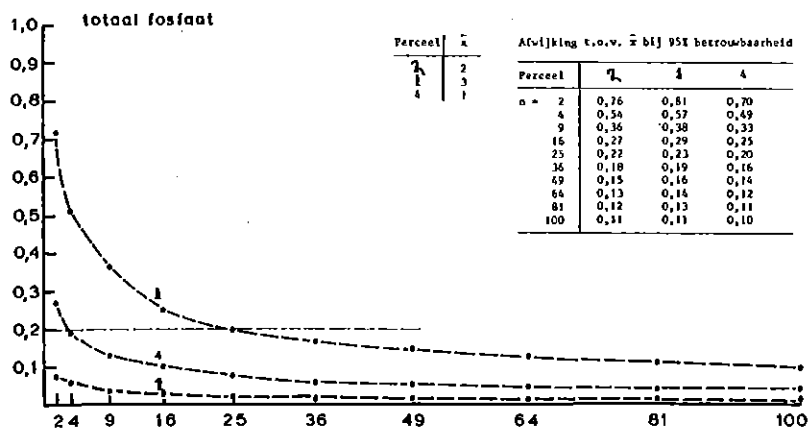
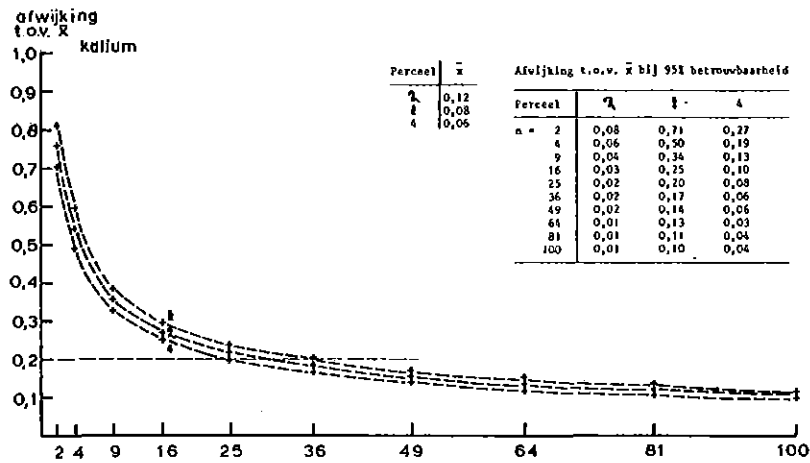
Fig. 3. Invloed van het aantal monsters op de nauwkeurigheid van de schatting van de gemiddelde gehalten in het grondwater voor chloride, natrium, calcium, magnesium, kalium (mg.l^{-1}), totaal fosfaat (mg.PI^{-1}) en geleidingsvermogen ($\mu\text{mho.cm}^{-1}$, 25°C)



Vervolg figuur 3



Vervolg figuur 3



5. SLOTBESCHOUWING

In de gemeente Asten is in het bosgebied Voordeldonk onderzoek verricht naar de chemische samenstelling van het bovenste grondwater bij verschillende begroeiingen en grondwaterstanden. De bodem is samengesteld uit kalkarm, leemarm, fijn zand. De bemonstering heeft plaatsgevonden in maart 1978 volgens 'de boorgatenmethode'. Uit eerder onderzoek in landbouwgebieden is reeds gebleken, dat er een grote variatie in gehalten binnen één perceel op kan treden. Ook bij natuurlijke begroeiingen blijkt dit het geval te zijn (bijlage 3 t/m 7). Het aantal monsters per perceel moet minstens 24 zijn, wil de éénzijdige afwijking met een betrouwbaarheid van 95% niet groter zijn dan 20% (tabel 8, fig. 2 en 3). Bij relatief lage zoutgehalten kan men met dezelfde nauwkeurigheid, met een geringer aantal monsters toe.

Door een verschil in verdamping tussen de percelen onderling, hetgeen het gevolg is van de begroeiing en grondwaterstand, treden er duidelijk verschillen op in gemiddelde ionen concentratie van het grondwater (tabel 3). Ook wordt de ionen concentratie beïnvloed door de grootte van het jaarlijkse neerslagoverschot. Uit de analyses blijkt, dat naarmate het geleidingsvermogen (een maat voor opgeloste zouten) hoger ligt, ook het chloride-, calcium-, natrium-, sulfaat-, magnesiumgehalte en het gehalte aan P-verbindingen hoger zijn (tabel 4). Het nitraat gehalte vertoont nauwelijks enige correlatie met het geleidingsvermogen ($r = 0,68$), stikstof is sterk bij biochemische processen betrokken. Chloride neemt niet deel aan deze processen, waardoor de concentraties goed bruikbaar zijn voor controle van waterbalansberekeningen (pag. 8). De verhouding tussen het chloridegehalte in het regen- en grondwater geeft inzicht in de hoeveelheid nuttige neerslag en de stikstofuitspoeling van elk perceel. Bij actief groeiende gewassen is de uitspoeling slechts enkele kg. stikstof per ha. De stikstof opname neemt bij oudere houtopstanden blijkbaar af, gezien de uitspoeling van enige tientallen kilogrammen. Ook een hoog organisch stofgehalte in de bovengrond kan leiden tot verhoogde stikstofafvoer (tabel 6).

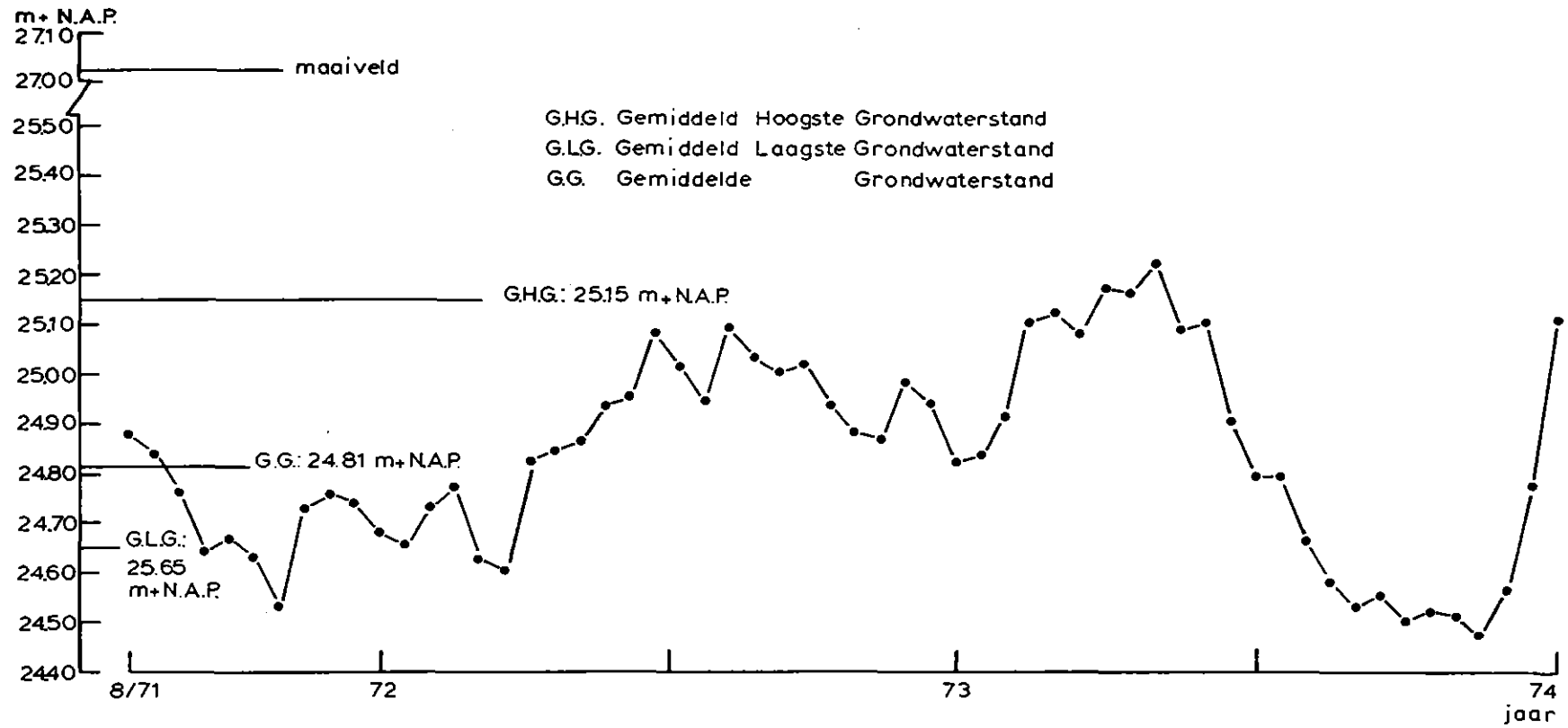
LITERATUUR

- CULTUURTECHNISCHE VERENIGING, 1974. Cultuurtechnisch Vademecum,
pag. 103
- HEYDEN, F.M.J. VAN DER, 1977. Onderzoek naar de variatie in chemische
samenstelling van het ondiepe grondwater onder grasland.
Nota ICW, no. 965, Wageningen
- RIDDER, T.B. DE, 1978. Over de chemie van de neerslag. Vergelijking
van meetresultaten. W.R. 78-4. KNMI, De Bilt
- TOLLENAAR, P., 1972. Inspoeling en uitspoeling van enkele chemische
elementen in 2 lysimeters te Castricum. Verslag van een
doctoraal onderzoek in de Hydrologie aan het Instituut voor
Aardwetenschappen der Vrije Universiteit te Amsterdam
- STIBOKA, 1968. Bodemkaart van Nederland. Blad 52 West, Venlo
- STICHTING STUDIE CENTRUM WEGENBOUW, 1970. Kwaliteitsbeheersing
en controle in de wegenbouw. Mededeling 22, 2de druk, Arnhem,
Jansbuitensingel 14a
- WATERSCHAP DE AA, 1978. Schriftelijke mededeling: grondwaterstanden
1971-1977
- WIJVEKATE, M.L., 1970. Verklarende statistiek. Aula boeken no. 39

Bijlage 1

Beschrijving van de gemiddelde profielopbouw van de onderzochte percelen

Perceel no.	Begroeiing	G.W.T.	Gemiddelde profielopbouw	Opmerkingen
1	oud naaldhout	VII	0-20 cm humeuze bovengrond 20-30 cm bruin zand > 30 cm overgaand in fijn wit zand	geen onderbegroeiing
2	oud naaldhout	VI	0-50 cm zwart humeus zand > 50 cm bruingeel zand	*in ondergrond plaatselijk leem *in bovengrond soms blauwgrijs loodzand *geen onderbegroeiing
3	jong naaldhout	VII	0-20 cm uitgeloofd zand 20-40 cm inspoelings- horizont >40 cm fijn geel zand	onderbegroeiing bestaat uit heide
4	pijpestrootje	VI	0-40 cm zwart tot donker- bruin zand >40 cm geel zand	*in bovengrond soms blauwgrijze loodzandlagen die schuingericht lopen *ondergrond plaatselijk leem met fijn wit zand
5	loofhout	VI	0-40 cm humusrijke bruine grond 40-50 cm licht bruin zand >50 cm lichtgeel zand	*in ondergrond plaatselijk leem *bovengrond sterk doorworteld en ruim bedekt met bladeren *in bovengrond soms loodzand aanwezig
6	loofhout	V	0-40 cm moerige, venige tot humusrijke grond >40 cm van donkerbruin tot lichtbruin en donker- geel zand	*bovengrond erg plakkerig *perceel kent hoge grondwaterstanden



Verloop van de grondwaterstand in buis 31

Analyseresultaten van perceel 1 met oud naaldhout (A.G. 2,25 m -mv)

Monster	NO ₃	Cl	E.C.	Na	K	Ca	Mg	tot.P
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µmho.cm ⁻¹ (bij 25°C)	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.P l ⁻¹
no. 1	115	24	500	13	1,3	8,6	2,8	0,05
2	144	24	600	16	3,6	11	2,9	0,15
3	110	31	562	14	5,5	7,4	2,8	0,08
4	0,1	24	316	12	1,4	4,1	1,2	0,03
5	55	20	298	9,3	1,7	5,6	1,5	0,03
6	111	19	442	11	2,2	7,5	2,3	0,10
7	123	20	490	13	3,7	11	3,0	0,11
8	67	12	312	11	1,2	5,6	2,5	0,07
9	145	30	620	16	5,4	8,9	3,4	0,06
10	83	18	356	11	1,5	7,2	2,2	0,05
11	155	22	502	13	3,4	11	4,6	0,18
12	155	34	800	19	6,1	14	4,9	0,16
13	65	13	322	8,4	2,2	4,7	1,8	0,07
14	57	22	354	11	1,3	7,5	2,6	0,04
15	30	8,8	210	7,9	1,5	4,4	1,5	0,05
16	112	22	532	9,6	1,4	6,5	2,8	0,05
17	73	23	402	14	4,0	5,9	2,2	0,06
18	89	15	414	11	2,0	6,8	2,7	0,06
19	161	29	720	15	5,6	7,5	3,4	0,09
20	127	44	720	20	1,6	6,8	3,9	0,08
21	115	30	502	9,9	5,3	9,6	2,9	0,08
22	51	19	298	9,2	2,2	7,1	2,8	0,09
23	89	32	472	15	2,4	8,3	3,1	0,11
24	111	66	1020	35	2,9	11	6,5	0,08

Bijlage 4

Analyseresultaten van perceel 2 met oud naaldhout (A.G. 1,00 m-mv.)

Monster	NO ₃	Cl	E.C.	Na	K	Ca	Mg	tot.P
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µmho.cm ⁻¹ (bij 25°C)	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg P.l ⁻¹
no. 1	6,3	88	1020	45	4,8	24	28	0,08
2	44	41	590	18	3,4	16	13	0,06
3	187	104	1580	41	1,8	11	18	0,21
4	15	35	226	16	1,9	6,1	5	0,08
5	1,1	39	352	23	1,0	11	12	0,05
6	39	165	1920	70	2,3	27	36	0,11
7	62	51	428	20	1,8	11	9,2	0,08
8	81	57	920	24	4,3	15	14	0,16
9	52	97	1100	43	0,7	4,7	11	0,16
10	5,2	71	740	33	1,8	10	8,9	0,09
11	78	53	800	24	2,3	18	12	0,11
12	4,4	26	330	11	0,8	2,3	2,9	0,06
13	140	74	1100	32	4,2	18	13	0,16
14	218	46	880	15	2,3	9,5	4,9	0,14
15	10	65	800	38	3,1	18	14	0,16
16	21	97	1100	48	2,3	21	19	0,22
17	35	19	322	8	0,7	2,5	2	0,03
18	42	107	1180	57	1,4	9,6	15	0,30
19	176	111	1780	47	0,9	18	15	0,22
20	3,6	43	640	17	1,3	6,8	4,1	0,11
21	150	54	960	25	2,6	16	10	0,19
22	60	85	840	34	3,7	18	9,9	0,03
23	12	48	600	24	2,8	15	11	0,05
24	112	70	1100	34	2,2	24	11	0,11

Bijlage 5

Analyseresultaten van perceel 3 met jong naaldhoutbos

Monster	NO ₃	Cl	E.C.
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µmho.cm ⁻¹ (bij 25°C)
1	1,7	10	208
2	1,0	11	194
3	0,8	5,3	130
4	0,9	6,7	188
5	0,7	11	212
6	0,4	5,6	150
7	0,5	4,6	130
8	0,1	6,0	158
9	3,1	6,3	120
10	0,9	5,0	136
11	1,0	12	172
12	0,9	5,6	154
13	0,2	5,6	112
14	1,9	8,1	120
15	0,8	11	140
16	0,7	10	142
17	0,5	6,3	116
18	0,9	6,7	138
19	2,2	24	278
20	0,9	9,8	186
21	0,2	11	218
22	0	6,3	140
23	0	19	288
24	1,7	13	196

Analyseresultaten van perceel 4 met pijpestrootje

Monster	NO ₃	Cl	E.C.	Na	K	Ca	Mg	tot.P
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µmho.cm ⁻¹ (bij 25°C)	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.P l ⁻¹
no. 1	6,1	7,7	144	5,6	1,5	4,5	1,0	0,06
2	4,0	10	132	5,9	0,5	4,0	1,2	0,07
3	0,3	7,7	112	4,7	0,5	4,1	0,8	0,08
4	1,4	5,3	116	4,7	0,9	3,2	0,8	0,07
5	1,6	7,4	142	5,7	0,5	4,5	1,1	0,08
6	10	9,1	168	5,1	1,3	6,8	1,3	0,08
7	0,4	7,0	110	4,2	0,6	2,0	0,9	0,07
8	0,1	9,8	150	6,2	0,3	4,0	1,3	0,05
9	1,0	7,4	134	5,1	0,8	3,3	1,1	0,08
10	0,4	8,1	110	4,7	0,4	3,4	0,8	0,07
11	4,2	11	168	6,5	0,7	5,5	1,6	0,08
12	0,3	9,8	140	5,7	0,6	4,0	1,1	0,07
13	0,1	9,1	128	5,0	0,4	3,3	0,9	0,05
14	0,5	11	186	6,4	0,2	5,6	1,8	0,05
15	2,0	7	134	4,9	0,4	4,3	1,4	0,07
16	0,2	13	146	5,5	0,9	4,1	1,4	0,08
17	0,5	12	210	7,8	0,7	6,0	2,2	0,05
18	1,2	12	166	5,1	0,4	3,6	1,1	0,05
19	6,2	11	188	5,5	0,6	5,2	1,3	0,05
20	11	8,8	160	5,1	1,0	5,0	1,4	0,06
21	0,9	9,5	164	5,7	0,4	3,3	1,1	0,05
22	5,5	6,3	172	5,5	0,6	3,9	1,8	0,05
23	8,7	10	152	5,3	0,7	4,4	1,0	0,06
24	0,1	7,4	150	5,9	0,6	4,3	1,3	0,05

Bijlage 7

Analyseresultaten van de percelen loofhout (5 en 6)

Monster	Perceel 5			Perceel 6 (venige bovengrond)			
	Bepaling	NO ₃	Cl	E.C.	NO ₃	Cl	E.C.
		mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µmho.cm ⁻¹ (bij 25°C)	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µmho.cm ⁻¹ (bij 25°C)
1		0,6	21	404	73	21	430
2		0,3	53	700	37	20	356
3		5,2	24	424	58	25	386
4		0,3	54	760	30	31	548
5		1,7	48	528	83	27	552
6		3,0	38	452	34	14	442
7		6,1	40	502	98	17	476
8		1,8	8,4	160	66	18	428
9		3,5	22	302	134	8,1	440
10		0	8,4	142	82	17	576
11		0,2	18	222	72	29	566
12		0,3	44	550	117	26	980
13		0,6	23	340	136	13	510
14		21	25	440	114	20	720
15		55	13	218	162	17	800
16		0,1	13	214	81	16	520
17		0,2	40	700	135	11	476
18		3,9	17	262	90	19	540
19		3,6	30	466	88	16	368
20		4,2	11	196	105	9,8	436
21		1,8	23	406	54	14	330
22		12	16	310	70	13	640
23		2,0	19	264	158	24	920
24		1,0	19	230	60	26	500