

ALTERRA

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

ICW nota 1742

november 1986



nota

UIT- EN AFSPOELING VAN FOSFOR EN STIKSTOF AFKOMSTIG VAN
BEMESTING IN DE LANDBOUW

De berekening door middel van analyse van debieten
en stoffenvrachten in beekgebieden

L.F. Nijboer¹

¹Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing
Technische Hogeschool Delft

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, 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

VOORWOORD

Deze studie over de uit- en afspoeling van fosfor en stikstof afkomstig van bemesting in de landbouw is onderdeel van een doctoraal scriptie voor de TH-Delft, Vakgroep Civiele Gezondheidstechniek en Waterbeheersing. Het onderzoek is gedaan in samenwerking met het Zuiveringsschap Veluwe te Apeldoorn en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen.

In dit verband is veel dank verschuldigd aan prof. ir. J.H. Kop (TH-Delft), drs. W. Oosterloo (Zuiveringsschap Veluwe) en ir. J.H.A.M. Steenvoorden en de typekamer van het Zuiveringsschap Veluwe.

ALTERRA

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

NASCHRIFT

In deze nota wordt de toevoer van stoffen uitgesplitst naar de deelstromen via diep grondwater, interflow en oppervlakteafvoer. De in het rapport gebruikte hydrologische terminologie is niet geheel juist gekozen indien wordt uitgegaan van de 'verklarende hydrologische woordenlijst' van de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie (CHO-TNO, Serie Rapporten en Nota's nr 8a).

Ten aanzien van interflow (= oppervlakkige afvoer = tussenstroom) geeft de 'woordenlijst' als omschrijving:

Horizontaal transport van grondwater in een ondiepe verzadigde laag. Het begrip wordt bij voorkeur gebruikt indien dit verschijnsel van tijdelijke aard is; meestal gaat dit verschijnsel gepaard met een schijnspiegel.

Als omschrijving van het begrip 'schijnspiegel' geeft de 'woordenlijst':

Freatisch vlak van een grondwaterlichaam gelegen op een slecht doorlatende laag, waaronder weer een onverzadigde zone voorkomt.

Voor het begrip oppervlakte-afvoer wordt als verklaring gegeven (CHO-TNO, Serie Rapporten en nota's nr 8C):

De afvoer van water over het grondoppervlak.

De toegepaste Unit-hydrograph methode, waarbij afvoergolven worden uitgesplitst in de bijdrage van een snel, minder snel en een traag reagerend systeem, geeft geen zekerheid over de transportweg van het water. Op basis van deze overwegingen dient de terminologie als volgt te worden aangepast:

Nota:

- diep grondwater
- interflow
- oppervlakte-afvoer

Nieuw:

- regionale grondwaterstroming
- lokale grondwaterstroming
- oppervlakte-afvoer en interflow

Landbouw en natuur

Landbouw en natuur

Landbouw en natuur

Wageningen, 12 november 1986

ir. J.H.A.M. Steenvoorden

ICW

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING EN KONKLUSIES

1. <u>INLEIDING</u>	blz 5
2. <u>DOELSTELLINGEN</u>	7
3. <u>TOEGEPASTE METHODE VAN ONDERZOEK</u>	
3.1. Inleiding	8
3.2. Koncentratieverloop van de stoffen stikstof en fosfor in de rivieraafvoer	8
3.3. Grafische verdeling van de drie afvoercomponenten tijdens de hoogwatergolf	11
3.4. Rekenmodel om de concentraties NO ₃ -N, Kj-N en PO ₄ -P in de drie verschillende afvoercomponenten te bepalen	12
4. <u>BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEK</u>	14
5. <u>BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOCHE BEEKGEBIEDEN</u>	
5.1. Inleiding	15
5.2. Lunterse beekgebied	
5.2.1. Gebiedsbeschrijving	
5.2.1.1. Topografie	19
5.2.1.2. Geomorfologie	20
5.2.1.3. Geohydrologie	20
5.2.1.4. Landgebruik	22
5.2.2. Waterbalans	24
5.2.3. Stoffenbalans	25
5.3. Hierdense beekgebied	
5.3.1. Gebiedbeschrijving	
5.3.1.1. Topografie	31
5.3.1.2. Geomorfologie	32
5.3.1.3. Geohydrologie	33
5.3.1.4. Landgebruik	34
5.3.2. Waterbalans	37
5.3.3. Stoffenbalans	39
6. <u>UITWERKING TOEGEPASTE ONDERZOEKSMETHODE</u>	
6.1. Inleiding	43
6.2. Lunterse beekgebied	
6.2.1. Aannames en uitgangspunten	48
6.2.2. Uitwerking en resultaten	49
6.3. Hierdense beekgebied	
6.3.1. Aannames en uitgangspunten	52
6.3.2. Uitwerking en resultaten	53
7. <u>VERGELIJKING RESULTATEN MET ANDERE BEREKENINGSMETHODEN</u>	56
8. <u>DISKUSSIE</u>	60
9. <u>LITERATUUR</u>	62
10. <u>FIGUREN</u>	
11. <u>TABELLEN</u>	
12. <u>BIJLAGEN</u>	

- 1 -

ALTERRA

Wageningen Universiteit & Research center
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

SAMENVATTING EN KONKLUSIE

Evenals in een groot aantal andere landen vindt ook in Nederland toevoer van nutriënten uit meststoffen naar het oppervlaktewater door uit- en afspoeling plaats. In Nederland gebeurt dit met name in de zandgebieden met veel intensieve veehouderij.

Het gevolg is een verstoring van aquatische ecosystemen en negatieve beïnvloeding van mensgerichte functies. Voorbeelden hiervan zijn de eutrofiëring van het oppervlaktewater wat ondermeer aanleiding kan geven tot overlast in de vorm van hoge algendichtheden en overschrijding van nitraatnormen voor de drinkwaterbereiding.

De belangrijkste voedingsstoffen die hierbij een rol spelen zijn stikstof en fosfor. In het concept Indikatief Meerjaren Programma Water (I.M.P.-Water 1985-1989) wordt voor de basiskwaliteit een chlorofylnorm van 100 mg/m³ gekoppeld aan een totaal fosforgehalte (Tot-P) van 0,15 mg/l. Om aan deze waarden te kunnen voldoen dienen maatregelen te worden genomen om de landbouwbijdrage aan de eutrofiëring te beperken en restricties te stellen aan het uitrijden van mest.

In deze studie is voor twee beekgebieden bepaald op welke wijze en in welke perioden welk deel van de emissies vanuit de landbouw tot stand komen. Hiertoe is gebruik gemaakt van een oorspronkelijk Fransen methode. Rivierafvoeren worden hierbij samengesteld gedacht uit de componenten: (diep) grondwaterafvoer (C_g), interflow (C_i) en oppervlakteafvoer (C_s). De onderlinge verhouding van de drie componenten is o.a. afhankelijk van de weersgesteldheid en de gebiedskenmerken.

De rivierafvoer is door middel van grafische en analytische technieken verdeeld in deze componenten. De oppervlakteafvoerhoeveelheid is vergeleken met de oppervlakteafvoerhoeveelheid berekend door middel van de computersimulatie Flowex (Buitendijk - 1984) genaamd.

De stoffenconcentraties (NO₃-N, Kj-N en Tot-P) in de drie componenten worden als een konstante beschouwd gedurende een afvoergolf. De concentraties zijn gedeeltelijk aangenomen en gedeeltelijk berekend volgens het schema in

tabel 2. De berekening is uitgevoerd met een oplopende reeks van concentratiewaarden voor het Kj-N en het Tot-P in de interflow.

Stoffen	NO ₃ -N	Kj-N	Tot-P
Koncentratie			
Cg	aanname	aanname	aanname
Ci	berekend	aangenomen reeks	aangenomen reeks
Cs	0	berekend	berekend

Tabel 2

Schema van het rekenmodel met aannames en berekening van de stoffenkonzentraties in de verschillende afvoerstromen (g = grondwater, i= interflow, s = oppervlakteafvoer).

Het model is toegepast op de afvoer van de Luntersebeek en de Hierdensebeek. De resultaten zijn in tabellen 14, 15 en 16 weergegeven.

Het aandeel van de grondwater-, interflow- en oppervlakteafvoer is in percentages van de af- en uitspoeling gegeven.

Lunterse beek 1/10'82 - 1/6'83 (48% meer neerslag dan normaal)				
nutriënten afvoer	Tot-P	NO ₃ -N	Kj-N	Tot-N
af/uitspoeling (kg/ha)	8.9	38.1	28.7	66.8
1. grondwater (diep)	3 %	2 %	7 %	4 %
2. interflow	73 - 83 %	98 %	78 - 83 %	90 - 92 %
3. opp. afvoer	24 - 14 %	0 %	15 - 10 %	6 - 4 %

Tabel 14. Uit- en afspoeling nutriënten per ha kultuurgrond in het Lunterse beekgebied

-3-

Hierdense beek 1/1'84 - 31/12'84 (14% meer neerslag dan normaal)				
nutriënten afvoer	Tot-P	NO3-N	Kj-N	Tot-N
af/uitspoeling (kg/ha)	6,4	98.3	45.8	144.2
1. grondwater (diep)	2 %	1 %	2 %	1 %
2. interflow	61 - 79 %	99 %	77 - 85%	92 - 95 %
3. opp. afvoer	37 - 19 %	0 %	21 - 13%	7 - 4 %

Tabel 15. Uit- en afspoeling nutriënten per ha kultuurgrond in het Hierdense beekgebied

Hierdense beek 1/1'85 - 1/9'85 (normale hoeveelheid neerslag)				
nutriënten afvoer	Tot-P	NO3-N	Kj-N	Tot-N
af/uitspoeling (kg/ha)	2.9	57.4	26.0	83.4
1. grondwater (diep)	4 - 3 %	1 %	3 %	1 %
2. interflow	86 - 90 %	99 %	90 - 92 %	97 %
3. opp. water	10 - 7 %	0 %	7 - 5 %	2 %

Tabel 16. Uit- en afspoeling nutriënten per ha kultuurgrond in het Hierdense beekgebied

De voor bemesting beschikbare mineralenhoeveelheden in het Luntersebeekgebied in 1981 (Lit. 20) en in het Hierdensebeekgebied in 1984 (Lit. 20 en Lit.21) zijn in onderstaande tabel 17 weergegeven in kg per hectare kultuurgrond.

	Lunterse beekgebied 1981		Hierdense beekgebied 1984	
	Tot-P	Tot-N	Tot-P	Tot-N
zuiveringsslib	2	6	2	5
kunstmest	6	171	5	181
dierlijke mest	152	575	88	330
totaal	160	752	95	516

Tabel 17. Beschikbare hoeveelheid mineralen voor bemesting in kg/ha kultuurgrond

De belangrijkste konklusies op basis van dit onderzoek luiden:

- . De toepassing van het berekeningsmodel vergt relatief veel tijd, maar verhoogt in belangrijke mate het inzicht in de wijze waarop de nutriëntenbelasting door bemesting plaats vindt.
- . Het aandeel van de interflowkomponent in de jaarlijkse nutriëntenafvoer is veel groter dan tot nu toe in verschillende studies werd aangenomen. Hieruit kan gekonkludeerd worden dat niet alleen in de winterperiode restricties aan het uitrijden van mest dienen te worden gesteld, maar dat ook de totale jaarlijkse mestgift ten opzichte van de gewasbehoefte in beschouwing moet worden genomen.
- . In de periode mei t/m september vindt in de onderzochte gebieden praktisch geen oppervlakteafvoer plaats, ook niet tijdens zware buiten of tijdens langere regenperioden. Het aandeel in de jaarafvoer van nutriënten is in deze periode gering. Deze konklusie is op basis van theoretische analyse van het afvoerpatroon tot stand gekomen. Controle hiervan zal door middel van veldwaarnemingen moeten plaatsvinden.
- . De percentages van de niet-gerioleerde bebouwing in de stoffenvracht van de beekafvoer bedragen in het Luntersebeekgebied 7,9% voor het Tot-P en 3,5% voor het Tot-N.

Voor het Hierdensebeekgebied bedragen deze percentages onder overeenkomstige weersomstandigheden respectievelijk 14,4% en 1,5%.

In een droge periode bedroegen deze laatste waarden respectievelijk 26,1% en 2,3%.

1. INLEIDING

Als men de fosfaat- en stikstofkringlopen van tegenwoordig met die van een tiental jaar geleden vergelijkt, levert dat in veel landbouwgebieden het volgende beeld op:

- een sterke schaalvergroting en intensivering van de landbouw;
- een sterk toegenomen kunstmest-N verbruik;
- plaatselijk grote overschotten aan dierlijke mest.

Hierdoor zijn de emissies van nutriënten uit de landbouw naar het oppervlakte en grondwater sterk toegenomen. Toename van deze nutriëntenbelasting heeft onder andere tot een toename in de eutrofiëring van het oppervlaktewater geleid. De kwaliteit en de gebruiksmogelijkheden van dit water zijn hierdoor sterk vermindert. Terugdringing van emissies van nutriënten uit de landbouw kan een belangrijke verbetering van de waterkwaliteit opleveren. Om effectieve maatregelen te kunnen nemen dient te worden vastgesteld, op welke wijze en in welke periode de emissies vanuit de landbouw tot stand komen.

Dit probleem is de aanleiding tot steeds meer onderzoek. Vooral van belang is de relatie tussen de kenmerken van een stroomgebied en de emissies van nutriënten uit de landbouw. Een onderzoek van J.L. Probst c.s. van het "Institut de Géologie, Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface", in Strasbourg genaamd "Nitrogen and phosphorus exportation in the Garonne Basin" uit 1985 legt hiertussen verbanden. Dit gebeurt door middel van onderzoek van afvoerkoncentratierelaties tijdens hoogwatergolven met analytische en grafische technieken. Rivierafvoeren worden hierbij samengesteld gedacht uit de componenten: oppervlakteafvoer, interflow en grondwaterafvoer.

Hierbij worden verbanden gelegd tussen de stoffenconcentraties in de beekafvoer tijdens hoogwatergolven en de concentraties in de afzonderlijke afvoercomponenten.

Een vereiste hierbij is, dat er geen emissies van andere niet-kwantificeerbare bronnen in het stroomgebied optreden, die een wezenlijke bijdrage leveren.

-6-

De onderzoeksmethode is toegepast op de afvoer van de Lunterse beek en de Hierdense beek.

2. DOELSTELLING

Dit onderzoek beoogt meer inzicht te verschaffen in de transportweg van de nutriënten fosfor en stikstof uit dierlijke meststoffen. Dit gebeurt door een oorspronkelijk Franse berekeningsmethode toe te passen op de verzamelde gegevens van twee stroomgebieden met hoofdzakelijk agrarisch grondgebruik; te weten het Lunterse beekgebied en het Hierdense beekgebied, beide gelegen op de Veluwe. De methode is toegepast op stroomgebieden welke bemest worden met grote hoeveelheden dierlijke meststoffen, zonder andere fosfor- en stikstofbronnen die niet te kwantificeren zijn.

Rivier- en beekafvoeren worden hierbij in drie componenten gesplitst. Te weten als eerste een "diep" grondwaterafvoerkomponent, als tweede een interflowafvoerkomponent en als derde een oppervlakteafvoerkomponent. De fosfor en stikstof bijdrage van andere bronnen wordt in mindering gebracht op de totale nutriëntenafvoer. Op deze gereduceerde nutriëntenafvoer wordt de Franse berekeningsmethode toegepast voor de verdeling van de stoffen over de drie afvoerkomponenten. De concentratie van het fosfor en het stikstof in de drie oorspronkelijke stromen kunnen worden vastgesteld en tevens de transportweg en het transportverloop van deze stoffen.

3. TOEGEPASTE METHODE VAN ONDERZOEK

3.1. Inleiding

Zoals al in hoofdstuk 1 staat vermeld, is dit onderzoek gebaseerd op een Frans onderzoek uitgevoerd door J.L. Probst c.s. in der periode 1971-1983 (Lit. 1 en Lit. 2).

In bovengenoemde periode zijn balansstudies uitgevoerd in vier stroomgebieden in Frankrijk. De ligging van de stroomgebieden is aangegeven in figuur 1 en de belangrijkste karakteristieken van de stroomgebieden staan vermeld in tabel 1.

De stroomgebieden hebben hoofdzakelijk een agrarisch karakter. Het grondgebruik ten behoeve van de landbouw varieert van 55% voor het stroomgebied van de Garonne tot bijna 80% voor dat van de Girou. De Garonne wordt gevoed door smeltwater van de Pyreneeën en door regenwater van het Centraal Massief. De rivier is hierdoor deels een regen- en deels een smeltwater rivier. Deze combinatie leidt tot hoge afvoeren in de maanden februari en mei. Lage afvoeren treden op in de maanden augustus en september. De Girou, de Mossig en de Moselle zijn hoofdzakelijk regenrivieren met hoge afvoeren in de maanden januari en februari.

Voor de Girou en de Garonne zijn zowel de stikstof- als de fosfaatbalans opgesteld, voor de Mossig en de Moselle is dit alleen gebeurd voor stikstof. De monsters zijn van 1971 tot 1983 genomen met een frekwentie van minimaal één per maand en gedurende 1 à 2 jaar twee per week. Tijdens hoogwatergolven is deze frekwentie opgevoerd tot een monsternamen per 3 uur. Gemeten is het NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, PO₄-P, het totaal opgelost fosforgehalte (TDP) en het totaal fosforgehalte (Tot-P).

3.2. Koncentratieverloop van de stoffen stikstof en fosfor in de rivierafvoer

De concentraties van de meeste opgeloste elementen en verbindingen zoals Ca, Mg, Na, HCO₃, Cl, SO₄ in de rivierafvoer nemen af bij hogere afvoerdebieten. Dit in tegenstelling tot het NO₃-N, Kj-N en

het PO₄-P gehalte, waarbij hogere afvoerdebieten leiden tot hogere concentraties (fig. 2). Er blijkt een logaritmisch verband te bestaan tussen de laatstgenoemde concentraties en het afvoerdebiet (fig. 3). Dit verband is al eerder aangetoond door HALL in 1970 (Lit. 3) en MANCZAK en FLORCZYK in 1971 (Lit. 4). Het verband bestaat wanneer er sprake is van een niet-puntbronverontreiniging waarbij de af/uitspoeling overheerst. Dat dit verband geldt voor stroomgebieden met hoofdzakelijk agrarisch landgebruik, waarbij meststoffen worden toegepast, is aangetoond door BELAMIE in 1978 (Lit. 5).

Om dit verband aan te tonen en om de transportweg van de stoffen fosfor en stikstof aan te tonen is de bijdrage aan de rivierafvoer gesplitst in drie componenten (fig. 4). Afgezien van de directe neerslag op het oppervlaktewater kan naast de grondwatertoevoer ook toevoer over het bodemoppervlak en via de bovenste bodemlaag naar de watergang plaatsvinden. De eerste component de grondwatertoevoer wordt "grondwaterafvoer" genoemd. De grondwaterafvoer vormt de basisafvoer van de waterloop, de meest konstante component, die slechts gedempt reageert op veranderde omstandigheden. De tweede component, de afvoer over het bodemoppervlak wordt "oppervlakteafvoer" genoemd.

Deze is de snelst reagerende component. De derde component de afvoer via de bovenste bodemlaag wordt de "interflow"¹ genoemd.

Oppervlakteafvoer treedt op wanneer bij hoge neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de bodem is overschreden of wanneer smelt- of regenwater ten gevolge van een bevroren bodem niet kan infiltreren. Uit onderzoek naar oppervlakteafvoer in Nederland, uitgevoerd door OOSTEROM en STEENVOORDEN in 1979 (Lit. 6) en een computersimulatie van STEENVOORDEN en BUITENDIJK uit 1980 (Lit. 7) blijkt dat er jaarlijks een grote variatie in oppervlakteafvoer kan optreden. Voor een slecht doorlatende bodem met een slechte

1

Een juiste Nederlandse benaming ontbreekt hiervoor.

ontwateringssituatie werd gemiddeld over de winterperiode 1961/'62-1978/'79 22,4 mm per jaar berekend. Maximaal was deze hoeveelheid in het winterhalfjaar 1965/'66 93 mm en minimaal in de winterhalfjaren van 1971/'72, 1973/'74 en in 1975/'76 met 0 mm.

Verder blijkt er een duidelijk verband te bestaan tussen oppervlakteafvoer en maaiveldberging en tussen oppervlakteafvoer en drainage-intensiteit.

Interflow is dat gedeelte van de neerslag, dat weliswaar is geïn-filtreerd, doch niet naar het grondwater percoleert, maar door de bovenste bodemlaag, even onder het oppervlak, afstroomt naar de watergang. Interflow heeft plaatsgevonden, wanneer greppels of kleine sloten, die normaal droog staan, na een regenperiode water afvoeren terwijl men geen oppervlakteafvoer heeft gekonstateerd. . In het grootste deel van het jaar treden er geen hoogwatergolven op en de rivierafvoer bestaat dan gedeeltelijk uit interflow en grondwaterafvoer. Ten gevolge van hoge neerslagintensiteit of grote smeltwaterhoeveelheden kan er een hoogwatergolf ontstaan. Het mechanisme dat dan optreedt verloopt als volgt. Eerst neemt de interflow in omvang toe, de rivierafvoer bestaat uit grondwater- en interflow-afvoer. Hierna gaat de oppervlakteafvoer toenemen en bestaat de rivierafvoer zowel uit grondwaterinterflow- en oppervlaktewaterafvoer. Als de neerslag vermindert of stopt, zal de oppervlakteafvoer snel ophouden en zal de interflow het grootste deel van de rivierafvoer vormen. Tijdens de hoogwatergolf zal verder de grondwaterafvoer toenemen (fig. 4).

De hoogwatergolf blijkt dus tijdens zijn verloop uit verschillende verhoudingen van zijn componenten te zijn samengesteld. De scheiding in de drie afvoerstromen is een kunstgreep, een hulpmiddel. In feite is er een geleidelijke overgang tussen interflow en de "diepe" grondwaterafvoer. De schematisering is noodzakelijk voor het onderzoek naar de transportweg van de

verschillende componenten. Van kwantitatief belang voor een component zijn onder andere de gebiedskenmerken en het verloop van het weer.

Volgens PROBST hebben de drie verschillende componenten tijdens een hoogwatergolf konstante concentraties NO₃-N, Kj-N en PO₄-P. De concentraties van de stoffen in de grondwatertoevoer-komponent is het laagst. In de oppervlaktetoevoer-komponent bevinden zich hoge concentraties Kj-N en PO₄-P en praktisch geen NO₃-N. De concentraties in de interflowtoevoer-komponent ligt voor het Kj-N en het PO₄-P tussen beide vorige componenten in en is voor het NO₃-N het hoogst.

Dit en het hiervoor geschetste afvoerverloop in ogenschouw nemend treedt er een hoogwaterpiek op gelijktijdig met een piek in de concentraties van het Kj-N en het PO₄-P en tevens treedt er een iets naar rechts liggende concentratiepiek van het NO₃-N op (het zogenaamde "lag effect") zie figuur 5. Hetgeen in overeenstemming is met in de praktijk gemeten concentratie verlopen tijdens hoogwatergolven.

3.3. Grafische verdeling van de drie afvoerkomponenten tijdens de hoogwatergolf

De verdeling van de hoogwatergolf in de drie componenten is gebaseerd op de bestudering van de dalende tak van de afvoerverlooplijn. Daartoe wordt de afvoergolf op half-logaritmisch papier uitgezet. De horizontale as is de tijdas, op de verticale as wordt logaritmisch het rivierdebiet (Q) uitgezet (fig. 4). Voor elk van de drie verschillende componenten geldt de al eerder genoemde relatie $\log Q = f(t)$, met f als verschillende lineaire funkties. Deze relatie is gebaseerd op de lineaire reservoirtheorie van KRAIJENHOFF VAN DE LEUR (1958). In dit geval is uitgegaan van drie reservoirs met een afvoerverloop volgens:

$$Q(t) = Q(o) e^{-t/j} \quad (1)$$

waarin:

$Q(o)$ = debiet op tijdstip o

$Q(t)$ = debiet op tijdstip t

t = tijd

j = reservoirkoëfficiënt of karakteristieke tijd.

Op de dalende tak blijken zich twee knikpunten te bevinden. Het eerste knikpunt (A) geeft het punt aan waar de toevoer van de oppervlakteafvoer ophoudt. Het tweede knikpunt (B) geeft het punt aan waar de toevoer van de interflow ophoudt. Door nu de verschillende hellingen te verlengen ontstaan de punten A_0 , het maximum van de interflow en het punt B_0 , het maximum van de grondwaterafvoer (Fig. 4).

Deze grafische voorstelling blijkt in de praktijk te idealistisch voorgesteld. Met behulp van gegevens van de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland uit 1985 (Lit. 8) en gegevens van een onderzoek van OTTEN c.s. uit 1982 (Lit. 9) werd de grondwater-toevoer naar de te onderzoeken beken bepaald. Hierbij werd verder een gedeelte afgetrokken van de afvoer van de niet-gerioleerde verspreide bebouwing. Het moment waarop oppervlakteafvoer optreedt, kan aan de hand van het concentratieverloop van het NO_3-N , $Kj-N$ en het PO_4-P en door te kijken naar de neerslaghoeveelheden worden bepaald. De oppervlaktewaterafvoerhoeveelheid is daarna grafisch bepaald en later vergeleken met de uitkomsten van de computersimulatie met FLOWEX (Lit. 10). Dit laatste is mogelijk door gebruik te maken van STIBOKA-kaarten, aangezien de FLOWEX-simulatie verschillende waarden geeft voor verschillende bodemtypen en ontwateringssituaties. Door met behulp van de STIBOKA-kaarten voor een gebied de verschillende percentages bodemtypen en ontwateringssituaties te bepalen, is in een bepaalde periode de oppervlaktewaterafvoer met FLOWEX uit te rekenen (bijl. 7).

3.4. Rekenmodel om de concentraties NO_3-N , $Kj-N$ en PO_4-P in de drie verschillende afvoerstromen te bepalen

De concentraties van de verschillende stoffen afkomstig van de drie reservoirs kunnen bepaald worden door de fysische en chemische processen in de grond tijdens het transport te bestuderen.

Vaak kunnen echter ook heel aannemelijke resultaten verkregen worden door uit te gaan van eenvoudiger modellen (Lit. 12). Als er vanuit wordt gegaan dat de te onderzoeken stoffen in de drie verschillende stromen hun massa behouden en niet chemisch reageren als ze samenkomen, kan de volgende vergelijking opgesteld worden:

$$C_t Q_t = C_g Q_g + C_i Q_i + C_s Q_s \quad (2)$$

De indices t, g, i en s geven respectievelijk totaal, grondwater, interflow en oppervlakteafvoer aan. De C staat voor de concentratie en de Q staat voor het debiet. Het totale debiet (Q_t) en de concentraties van de stoffen (C_t) zijn op het meetpunt aan het eind van het stroomgebied bepaald. De Q_g , Q_i en Q_s zijn grafisch bepaald per periode met een onveranderde situatie (zie 3.3.). De waarde van C_g is geschat met literatuurgegevens (Lit. 11, Lit 14) en in overleg met STEENVOORDEN van het I.C.W. te Wageningen en OOSTERLOO van het Zuiveringschap Veluwe. Door er vanuit te gaan dat C_s voor het NO_3-N te verwaarlozen is ten opzichte van die van C_g en C_i , kon de C_i per periode bepaald worden. Voor C_i van het K_j-N en het Tot-P werd een oplopende reeks van waarden genomen en bij deze reeks de bijbehorende C_s bepaald. Verder werd de invloed van de grootte van Q_s bekeken, door deze te laten variëren. In tabel 2 is het bovenstaande samengevat.

Stoffen	NO ₃ -N	K _j -N	Tot-P
Koncentratie			
C _g	aanname	aanname	aanname
C _i	berekend	aangenomen reeks	aangenomen reeks
C _s	0	berekend	berekend

Tabel 2

Schema van het rekenmodel met aannames en berekeningen van de stoffenvrachten in de verschillende afvoerstromen.

(g = grondwater, i = interflow, s = oppervlaktewater).

4. BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEK

Achtereenvolgens hebben de volgende stappen plaatsgevonden.

1. Beschrijving van de onderzochte beekgebieden ten aanzien van bodemgebruik, bebouwing, bodemsamenstelling, geohydrologische en geomorfologische opbouw en waterbalans.
2. Verzameling van de afvoer- en concentratiegegevens van de beken.
3. Verzameling en/of schatting andere bronnen. .
4. Grafische weergave van de afvoer op half logaritmisch papier.
5. Bepaling van de grondwaterafvoer en de concentratie van de te onderzoeken stoffen hierin.
6. Schatting en grafische konstruktie van de oppervlakteafvoer hoeveelheden en vergelijking van deze hoeveelheden met het computermodel FLOWEX en de Stiboka-kaarten.
7. Berekening van de totale vrachten en concentraties van de P04-P en de Kj-N in de oppervlakteafvoer en het NO3-N in de interflow.
8. Evaluatie en vergelijking van de resultaten.
9. Betrouwbaarheid en gevoeligheidsanalyse.

5. BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOCHE BEEKGEBIEDEN

5.1. Inleiding

Voor de Tweede Wereldoorlog bevonden zich op de van oorsprong schrale zandgronden in het oosten en zuiden van ons land kleine gemengde boerenbedrijfjes, waar naast akkerbouw het houden van kippen en varkens voor de boer een noodzakelijke bijverdienste was. Na 1950 beginnen zich op deze oude landbouwgronden veranderingen in de landbouw af te tekenen. Deze veranderingen betreffen de verhouding bouwland/grasland, de gewassen die verbouwd worden en de bemesting. Figuur 13 geeft een beeld van deze ontwikkeling van enkele gemeenten op de Veluwe in de periode 1950-1980. Tot ongeveer 1960 zijn rogge en haver de belangrijkste gewassen gevolgd door aardappelen en voederbieten. Vanaf 1965 komt gerst op als een (tijdelijk) belangrijk graangewas. De hoeveelheid rogge en haver nemen snel af. Vanaf 1970 wordt snijmaïs verbouwd en in 1980 maakt dit soms meer dan 80% van de totale oppervlakte van het bouwland uit. In 1977 bestaat de kultuurgrond voor 80 à 90% uit grasland, landelijk gezien is dit percentage 60,2% (1981).

Juist op deze schrale zandgronden ontwikkelt zich na 1960 de mestrij van kalveren, varkens en pluimvee. In Gelderland bevindt zich 48% van de kalvermestrij, 25% van de varkenshouderij en 23% van de pluimveehouderij in Nederland (CBS 1981). Deze intensieve veehouderijbedrijven zijn in Gelderland gekoncentreerd op de Noord-West Veluwe, in de Gelderse Vallei en in de Achterhoek. Aangezien de bedrijven de door de dieren geproduceerde mest veelal niet zelf kunnen gebruiken, zijn er in deze gebieden overschotten ontstaan.

De hoeveelheid mest die per hectare op het land gebracht kan worden, kan uit landbouwkundig of uit milieuhygiënisch opzicht bepaald worden. Uit landbouwkundig opzicht wordt gekeken naar de drie belangrijkste voedingselementen in mest namelijk stikstof,

fosfaat en kalium. Deze landbouwkundige normen, de zogenaamde I.B.-normen, zijn opgesteld door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren. Als criterium geldt dat niet meer mest op het land gebracht moet worden dan voor het verkrijgen van een maximale gewasproductie bij een akseptabele kwaliteit. Tevens mogen zich geen componenten in de grond ophopen die het produktievermogen van de bodem of de kwaliteit van de verbouwde gewassen aantasten. Hierbij kan gedacht worden aan de zware metalen koper en cadmium, die respektievelijk als spore-element en als verontreiniging in het veevoeder aanwezig zijn. Bij bouwland is de hoeveelheid stikstof bepalend in verband met de opbrengst, daling en/of kwaliteitsvermindering van het gewas. Dit betekent een overdosering van kalium en fosfaat. Bij grasland is de hoeveelheid kalium maatgevend in verband met het optreden van kopziekte wanneer het gras als veevoeder wordt gebruikt. Op basis van de landbouwkundige criteria blijkt geheel Gelderland bij een ideale verspreiding, een mestoverschot van 27,1% van het N-tot en 41,3% van het P2O5 te hebben (CBS 1982). Uit milieuhygiënisch opzicht is het fosfaat bepalend. Er mag niet meer fosfaat op het land worden gebracht dan door het gewas kan worden onttrokken. Met deze normen blijkt praktisch overal in Gelderland een mestoverschot te zijn.

Aangezien het vervoer van deze meststoffen naar tekort gebieden duur is en er nog te weinig andere verwerkingsmogelijkheden zijn, worden ze veelal toch op het land gebracht. Voor de invoering van de Verontreiniging Oppervlaktewateren (1970) kon dit zelfs gebeuren door direkte lozing van mest en gier op het oppervlaktewater. Een deel van de extra opgebrachte nutriënten spoelt uit en komt in het grondwater terecht of spoelt direkt af via het bodemoppervlak of via de interflow naar het oppervlaktewater. Door bemesting beïnvloed water heeft hogere Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- en PO_4^{3-} waarden dan niet beïnvloed water.

In hoeverre en in welke mate het bovenstaande optreedt, is van tal van factoren afhankelijk. Allereerst is het tijdstip en de hoeveelheid bemesting van belang. Als mest op een kaal bouwland

wordt gebracht, zal afhankelijk van het element en grondsoort een deel uit- of afspoelen. Bij zandgrond gebeurt dit deels voor het K^+ en voor een groot deel voor het Cl^- . Bij grasland zal bij een temperatuur hoger dan 7° wel opname door het gewas plaatsvinden. Bij kleigrond zal minder percolatie dan bij zandgrond optreden, ook zal bij kleigrond eerder denitrifikatie van het NO_3 optreden. Een andere voorwaarde voor denitrifikatie is de aanwezigheid van organisch materiaal (bijvoorbeeld humus) in de grond. Toename van de nitraat- en sulfaatconcentraties betekent een extra inbreng van zuur, die in de kalkarme zanden niet wordt gebufferd en dus leidt tot verzuring van het grondwater. Deze verzuring is nog beperkt tot het ondiepe grondwater tot - 15 m beneden het maaiveld (1982). De verzuring leidt tot aanzienlijke Al-concentraties in het grondwater, giftig voor mens en dier. Bij een pH minder dan 4 treedt geen denitrifikatie van het NO_3 meer op. Verder zal voor het fosfor bij een hogere grondwaterstand eerder uitspoeling optreden en neemt de bergingscapaciteit van de verzadigde zone af. Verder kan verdunning met een andere watersoort optreden en is het stromingspatroon en de verblijftijden van het grondwater van grote invloed op de verspreiding van de bron. Tabel 3 geeft voor het grondwater de invloed van enkele vervuilingsbronnen op de Veluwe.

Met de opkomst van de intensieve veeteelt zijn de beken in de concentratiegebieden veranderd van voedselarm naar voedselrijk. Het aquatisch milieu verarmde en in ernstige gevallen trad een totaal verstoorde situatie op. De Lunterse en de Hierdensebeek zijn hiervan voorbeelden. In beide situaties is het water van de beken afkomstig van gebieden met intensieve veeteelt en afkomstig van natuurgebieden. Als indicatie voor de vergelijking van de gevolgen van de overbemesting is de produktie van dierlijke mest per hectare kultuurgrond en de concentraties stikstof en fosfor in de beken gegeven (tabel 4).

	produktie		beekwater	
	kg N/ha/jaar	kg P/ha/jaar	N-Tot mg/l	P-Tot mg/l
LB	682 (1981 CBS)	209 (1981 CBS)	12.3 (10/82-10/83 ZV)	1.6 (10/82-10/83 ZV)
HB (1984)	-	87 (Tauw)	12.4 (ZV)	0.62 (ZV)
HB (1971)	445 (Kolen- brander)	91 (Kolen- brander)	7.0 (Rijtema, 1976)	0.74 (Rijtema, 1976)

Tabel 4

Productie van dierlijke mest per hectare kultuurgrond.

Koncentratie stikstof en fosfor in het beekwater.

Om enig inzicht te krijgen in de mate van verontreiniging die de overbemesting kan veroorzaken zijn achtereenvolgens de topografie, de geomorfologie, de geohydrologie, het landgebruik en de waterbalans in dit hoofdstuk behandeld.

5.2. Lunterse beekgebied

5.2.1. Gebiedsbeschrijving

5.2.1.1. Topografie

De begrenzing van het stroomgebied van de Luntersebeek is weergegeven in figuur 6. Het stroomgebied ligt grotendeels in de provincie Gelderland, terwijl een deel in de provincie Utrecht ligt. Het grootste deel ligt in het laaggelegen dal van de Gelderse Vallei, aan de oostzijde begrensd door de heuvels van de Veluwe en aan de westzijde begrensd door de Utrechtse Heuvelrug.

Het huidige beginpunt van de Luntersebeek is een vijver in het westen van de kern Lunteren, welke wordt gevoed door een drainage-systeem in een nieuwbouwwijk. Stroomafwaarts stromen een aantal zijbeken in de Lunterse beek, respectievelijk de Oeverwoudse beek, de Buzerdsche beek, de Fliertsche beek en de Munnikse beek. De oppervlakte van de gebieden met zichtbare afwatering van de Luntersebeek en zijbeken bedraagt volgens de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland (Lit. 8) 5.370 ha (volgens het zuiveringsschap Veluwe bedraagt deze waarde 5.972 ha) en van de niet-zichtbare ondiepe afwatering ongeveer 2.000 ha. Volgens het zuiveringsschap Veluwe is de oppervlaktewater van het totale infiltratiegebied 5.000 ha. Voor de berekening zijn de waarden 5.370 ha voor de zichtbare afwatering, 8.000 ha voor de oppervlakte van de kwelzone en 10.370 ha voor het totale afwateringsgebied aangehouden.

5.2.1.2. Geomorfologie

Morfologisch kan het gebied worden verdeeld in twee landschappen (Lit. 14), namelijk:

- a. het westelijk gedeelte, gelegen in de Gelderse Vallei;
- b. het oostelijk gedeelte, gelegen in het stuwwallengebied van de Veluwe.

Het westelijk gedeelte heeft weinig reliëf en helt in westelijke richting van ongeveer + 10 tot + 5 meter N.A.P. Dit gebied bestaat voornamelijk uit landbouwgrond met hoofdzakelijk gras- en maisvelden. De afwatering geschiedt via zichtbare open watergangen. Het oostelijk gedeelte is een gestuwd stuifzand landschap, waarvan de hoge plaatselijk meer dan + 40 meter N.A.P. bedraagt. Het gebied is grotendeels bebost of met heide begroeid en het heeft een niet-zichtbare, ondergrondse afwatering.

5.2.1.3. Geohydrologie (Lit. 8, Lit. 11 en Lit. 15)

Analoog aan de morfologie wordt geohydrologisch het stroomgebied gesplitst in twee gedeelten, bestaande uit het gedeeltelijk opgevulde glaciale bekken van de Gelderse Vallei en de stuwwallen van de Veluwe aan de oostrand van het bekken (Figuur 7).

A. De geohydrologische opbouw van het glaciale bekken vanaf het maaiveld;

1. Het eerste watervoerende pakket bestaat uit fijne zandafzettingen van de Formatie van Twente. De dikte van het pakket varieert van + 10 meter in de lagere delen van de Gelderse Vallei tot meer dan 30 meter aan de rand van de stuwwallen. Het doorlaatvermogen (kD-waarde) van dit pakket bedraagt minder dan 100 m²/dag in het centrale deel van de Gelderse Vallei tot 150 à 200 m²/dag langs de randen.
2. De eerste scheidende laag bestaat uit de mariene Eemformatie (Eem-klei).

De dikte van deze laag varieert van 2 tot 15 meter. De verticale hydraulische weerstand (c-waarde) bedraagt 1.000

langs de randen tot meer dan 10.000 dagen ten noorden van Nijkerk.

3. Het tweede watervoerende pakket, de Formatie van Drente wordt slechts gedeeltelijk van het derde watervoerende pakket gescheiden. Dit gebeurt in een gebied tussen Barneveld en Nijkerk en ten westen van Ede. Hier komt de (kei)lemen basis voor van het tweede watervoerende pakket. Het pakket bestaat uit fijn en grof zand en de kD-waarde varieert in het laatst genoemde gebied van 1.000 m²/dag langs de stuwal tot 100 à 500 m²/dag in de as van de Gelderse Vallei.
4. De hiervoor al genoemde plaatselijk voorkomende (kei)lemen basis van de Formatie van Drente gaat in het zuiden over in de Formatie van Kedichem en in het noorden vindt aansluiting met de eerste scheidende laag.
De c-waarde varieert van 25.000 dagen in het zuiden tot 200.000 dagen in het noord-westen.
5. Het derde watervoerende pakket bestaat uit achtereenvolgens de grindhoudende grove zanden van de Formaties van Harderwijk, Enschede en soms Stersel. De dikte varieert van 100 tot 150 meter en de kD-waarde varieert van 3.000 m²/dag in het zuiden tot 7.000 m²/dag in het noorden van de Gelderse Vallei. De basis van dit pakket wordt gevormd door de Formatie van Tegelen bestaande uit lemen, klei en slibhoudende zanden, soms afgewisseld met een grof zandige laag. De diepte van deze laag varieert van -115 meter in het oosten tot meer dan - 130 meter N.A.P. in het zuiden.
6. Onder de Formatie van Tegelen bevindt zich de Formatie van Oosterhout, die in het algemeen als ondoorlatende hydrologische basis wordt beschouwd.

B. De geohydrologische opbouw van de stuwallen van de Veluwe

Ter plaatse van de stuwallen bevinden zich boven de Formatie van Oosterhout geen scheidende lagen meer. Het eerste, tweede en het derde watervoerende pakket vormen daarom één geheel.

Het stromingsgebied

Het water dat in het hoger gelegen Veluwemassief infiltreert kwelt op in de Gelderse Vallei en wordt via een net van watergangen naar het Vallei-kanaal afgevoerd. Op grond van de hiervoor geschetste geologische structuur van de ondergrond, kan men globaal twee grondwatersystemen onderscheiden.

1. Een diep grondwatersysteem. Een groot, uitgestrekt systeem, met als infiltratiegebied het Veluwe-massief en de Utrechtse Heuvelrug. Een gedeelte van het geïnfiltreerde water kwelt in het centrale deel van de Gelderse Vallei op tot in de onderste lagen van het eerste watervoerende pakket. Een groot gedeelte verdwijnt echter via het watervoerende pakket boven de slecht doorlatende basis in de richting van het randmeer.
2. Een ondiep systeem. Een systeem van infiltratie- en kwelzônes respectievelijk op de overgang van het hooggelegen gebied van de Veluwe en de Gelderse Vallei en in het centrale deel van de Gelderse Vallei. Het dieptebereik beperkt zich tot de eerste scheidende laag. Het systeem is vooral van belang voor het lokaliseren en kwantificeren van de ondiepe, niet-zichtbare afwatering.

5.2.1.4. Landgebruik

Bewoning

In het gebied met de zichtbare afwatering wonen ongeveer 16.500 personen, waarvan 9.900 in een 3-tal kernen en 6.600 verspreid (1985). De gemiddelde bevolkingsdichtheid bedraagt 2,8 inwoners per hectare. De 3 kernen bestaan uit de volgende plaatsen en hebben als globale inwonersaantallen:

Lunteren	: 6.000 inwoners (provincie Gelderland)
Renswoude	: 2.500 inwoners (provincie Utrecht)
Ederveen	: 1.400 inwoners (provincie Gelderland)

In het gebied met de niet-zichtbare afwatering zijn ongeveer 15.000 slaappleatsen in de recreatieve sektor aanwezig.

Bodem en grondwaterstanden

Volgens de bodemkaarten (STIBOKA, 3-0/1965) bestaat de bodem in het lager gelegen deel van het gebied met zichtbare afwatering voor het grootste deel uit beekerd- en humuspodzolgrond, dit is veelal lemig fijn zand.

De grondwaterstanden kunnen aangegeven worden door de grondwatertrappen-indeling van de bodemkaarten. De grondwatertrappen (Gt's) worden onderscheiden op grond van de grootte van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). De GHG's en de GLG's worden respectievelijk bepaald door de gemiddelde hoogste en de gemiddelde laagste grondwaterstand over de periode 1950 - 1985 of over een zo groot mogelijk aantal jaren te middelen. De gemiddelde hoogste of laagste grondwaterstand per jaar wordt berekend uit de 3 respectievelijk hoogste en laagste waarnemingen op de 14e en 28e van de maand. Er worden de trappen I t/m VII onderscheiden (zie tabel 5).

Het gebied met de zichtbare afwatering heeft als laagste Gt-waarde II (8,4%), voor het grootste deel de Gt-waarde III (69,2%) en de rest (22,4%) hogere waarden. Dit betekent voor dit gebied dat in natte perioden voor bijna 80% de grondwaterstand tot aan het maaiveld kan staan. Het gebied met de niet-zichtbare afwatering heeft Gt's die hoger zijn dan III.

Bodemgebruik

Het bodemgebruik in het gebied met de zichtbare afwatering bestaat uit voornamelijk (intensieve) veehouderij. Het totaal aantal grondvee-eenheden (g.v.e.) bedraagt 13,3 per ha kultuurgrond (1981). De oppervlakte van de cultuurgrond bedraagt 4.721 ha (Z.V. 1984), dit is 87,9% van het gebied met de zichtbare afwa-

tering. Van deze kultuurgrond is 3.700 ha (78,4%) grasland en 1.021 ha (21,6%) bouwland. De oppervlakte van de bebouwde kernen in het gebied bedraagt ongeveer 150 ha (1969). Het gebied met de niet-zichtbare afwatering bestaat vooral uit natuurgebieden.

In tabel 6 is de totaal voor bemesting beschikbare mineralenhoeveelheid achtereenvolgens verdeeld over de oppervlakte bouwland (1.021 ha), grasland (3.700 ha) en kulruutgrond (4.721 ha).

	kg/ha akkerbouw			kg/ha grasland			kg/ha kultuurgrond			
	Tot-N	P205	K20	Tot-N	P205	K20	Tot-N	P205	Tot-P	K20
zuiveringsslib	26	24	3	7	6	1	6	5	2	1
kunstmest	815	65	20	218	17	5	171	14	6	4
totaal alle meststoffen	3.580	1.727	2.383	959	462	638	752	363	160	500

Tabel 6A

De voor bemesting beschikbare mineralen per oppervlakte in het Lunterse beekgebied in 1981 (Lit. 20).

5.2.2. Waterbalans Luntersebeek (Lit. 16)

A. Aanvoer

1. direkte neerslag op open water
2. uit- en afspoeling van natuur- en kultuurgrond
3. effluent van r.w.z.i.'s en k.g.z.i.'s
4. overstorten van rioolstelsels
5. afvoer van verspreide bebouwing in het buitengebied
6. lozing door agrarische bedrijven
7. kwel van buiten het gebied (grondwaterinstroming).

B Afvoer

1. afvoer naar het Valleikanaal

2. verdamping van open water
3. onttrekkingen
4. wegzijging (grondwateruitstroming)

C Berging

1. peilwisseling

Luntersebeek 1 oktober 1982 - 1 juni 1983

A1 190.325 m3 (761 mm)

A2 19.737.965 m3 (74,7%) (190 mm)

A3 580.824 m3

A4 16.771 m3

A5 69.741 m3 (0,3%)

A6 2.916 m3

A7 5.832.000 m3 (22,1%)

26.430.542 m3

B1 26.370.792 m3

C1 -

B2 59.750 m3 (239 mm)

B3 -

B4 -

26.430.542 m3

5.2.3. Stoffenbalans Lunterse beek (Lit. 16)

A. Aanvoer

1. direkte neerslag op open water
2. uit- en afspoeling van natuur- en kultuurgrond
3. effluent van r.w.z.i.'s en k.g.z.i.'s
4. overstorten
5. afvoer van de verspreide bebouwing in het buitengebied
6. lozing door agrarische bedrijven
7. kwel van buiten het gebied (grondwaterinstroming)

B. Afvoer

1. afvoer naar het Valleikanaal

4. wegzijging (grondwateruitstroming)
5. denitrifikatie van stikstof

C. Berging

1. in de waterfase door verhoging van de concentraties en/of toename van de waterhoeveelheid (peilwisseling)
2. sedimentatie en resuspensie.

$A7-B4$ = netto kwelafvoer of grondwaterafvoercomponent (Q_g)

$A1 + A3$ t/m $A6 - B2-B3 + Q_g$ = basisafvoer.

grondwaterafvoercomponent: 25.920 m³/dag.

Lunterse beek stoffenbalans 1 oktober 1982 - 1 juni 1983

	Tot-P		Tot-N	
	kg	%	kg	%
A1	19	0	589	0,2
A2	40.796	82,8	302.893	88,4
A3	3.320	6,7	14.307	4,2
A4	50	0,1	189	0,1
A5	3.220	6,5	11.780	3,4
A6	700	1,4	174	0,1
A7	<u>1.242</u>	2,5	<u>12.416</u>	3,6
	49.347		342.348	
B1	49.347		342.348	
B4	-		-	
B5	<u>-</u>		<u>-</u>	
	49.347		342.348	
C1	-		-	
C2	-		-	

A1 Neerslag op open water in het gebied met de zichtbare afwatering is berekend uit de vier K.N.M.I. regenwaarnemings-

stations.

$N + 0,15 \times \text{Woudenberg} + 0,05 \times \text{Veenendaal} + 0,60 \times \text{Lunteren} + 0,10 \times \text{Barneveld}.$

Voor het gebied met de niet-zichtbare afwatering zijn de waarnemingen te Lunteren gebruikt. De oppervlakte van het open water bedraagt 25 ha.

Voor het regenwater is een concentratie van 0,10 mg Tot-P/l en 3,1 mg Tot-N/l aangehouden (Lit. 16).

A2 Sluitpost, het neerslaggedeelte dat via de bodem in het oppervlaktewater terecht komt. De laagdikte is berekend met een oppervlakte van 10.370 ha voor het totale afwateringsgebied.

A3 Het effluent van de twee r.w.z.i.'s en de k.g.z.i. is als volgt verdeeld:

Lunteren (2.700 i.e.'s) : 64%

Renswoude (2.540 i.e.'s) : 36%

k.g.z.i. : $\pm 0,1\%$

Lunteren heeft een gemengd rioolstelsel met twee overstorten.

Eén overstort bevindt zich in het stelsel (5) en één bevindt zich bij een bergingstank (5). Renswoude heeft een gemengd stelsel met hierin twee overschotten (7, 18) en een verbeterd gescheiden stelsel met één overstort (8).

De waarden tussen de haakjes geven de theoretische overstortfrequentie aan.

A4 Totaal bevinden zich 5 overstorten in de rioolstelsels van Lunteren en Renswoude. Van één overstort wordt de hoeveelheid geregistreerd en worden proportionele monsters genomen.

Van de andere 4 overstorten is het aantal overstortingen en de duur daarvan bekend. De hoeveelheid overstortwater is door het zuiveringsschap met behulp van de hierna volgende empirische formule (3) geschat:

$$O = A \times (N-n) \times f/1.000 \quad (3)$$

met:

O = hoeveelheid overstortwater (m³)

A = verhard oppervlak (m²)

N = hoeveelheid neerslag (mm)

n = statische berging riolering (mm)

f = faktor die de invloed van de overkapaciteit beschrijft, hiervoor is 0,4 aangehouden, als gemiddelde van een 8-tal waarnemingen aan de overstort te Lunteren.

Voor de concentraties van de nutriënten zijn de Stora (1980) waarden aangehouden namelijk:

5 mg P/l en 13 mg N/l.

A5 Er is vanuit gegaan dat de bijdrage in de waterbalans direkt tot afvoer komt. Dit is wellicht niet terecht, doch de bijdrage is minimaal. De bijdrage van de niet-gerioleerde bebouwing in het buitengebied is door middel van een enquête (zie 6.1.), literatuurgegevens en tellen van het aantal inwoners geschat. Aangehouden is dat door de verspreide bewoning per inwoner, per dag 1,1 g Tot-P en 3,0 g Tot-N in het oppervlaktewater terecht komt (bijlage 7.1). Er bevinden zich 890 woningen in het buitengebied met 6.600 inwoners. Volgens de enquête wordt in 90% van de percelen een agrarisch bedrijf uitgeoefend. De afvoer van de nutriënten fosfor en stikstof afkomstig is van A5 en A6 door het zuiveringsschap als volgt over het jaar verdeeld gedacht. In het 1e en 4e kwartaal komt 150% tot afvoer, in het 2e kwartaal komt 75% tot afvoer en in het 3e kwartaal komt 25% tot afvoer.

A6 Bij 22% van de agrarische bedrijven komt spoelwater van melkapparatuur in het oppervlaktewater terecht, met een gemiddelde hoeveelheid van 50 m³/jaar en een gemiddelde samenstelling van 80 mg Tot-P/l en 20 mg Tot-N/l (zie 6.1.). Het aantal agrarische bedrijven bedraagt circa 800. Naast spoelwater van melkapparatuur komt spoelwater van stallen en voederbereiding

in het oppervlaktewater terecht. Verder kan regenwater meststoffen van het terrein afspoelen en komen deze klandestiene lozingen van mest en gier voor. De bijdrage van deze lozingen is moeilijk te schatten en blijft derhalve buiten beschouwing. De stoffenhoeveelheid in deze post is diens-tengevolge opgenomen in de sluitpost A2.

A7 Voor de netto kwelhoeveelheid (= grondwaterinstroming - grondwateruitstroming) is 0,3 mm/d genomen voor een stroomgebied van 8.000 ha (Lit. 8). Dit is gedaan op basis van gegevens van de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland. De wegzijging vervalt hiermee. De stoffenkonzentratie in deze grondwaterafvoercomponent bedraagt 0,2 mg Tot-P/l, 0,5 mg NO₃-N/l en 1,5 mg Kj-N/l (zie 3.4.).

B1 Deze hoeveelheid is kontinu bepaald door middel van registratie van de overstorthoogte. De concentraties van de stoffen zijn door middel van volume proportionele monsters bepaald. De monsters zijn in de periode 1 oktober 1982 tot 1 april 1983 per etmaal en in de periode 1 april tot 1 juni 1982 per week samengevoegd en geanalyseerd.

B2 De verdamping uit open water is berekend met behulp van verdampingswaarden van het K.N.M.I.

B3 De onttrekkingen aan het grond- en oppervlaktewater zijn van beperkte invloed. De grootste onttrekkingen vinden plaats in de zomerperiode ten behoeve van beregening van agrarische gronden. Op jaarbasis zijn deze hoeveelheden te verwaarlozen ten opzichte van de andere posten.

B4 Zie A7.

B5 Voorwaarden om denitrifikatie te laten plaats vinden in de beekbodem zijn een anaëroob milieu, een pH-waarde hoger dan 4,

met een optimale pH-waarde van 7 tot 8 en de aanwezigheid van omzetbaar organisch materiaal. Uit sedimentanalyses is gebleken dat zich weinig organische stof ophoopt in de beekbodem. Eventuele sedimentatie van organisch materiaal, in perioden met langzame stroming, wordt door middel van resuspensie in perioden met snellere stroming weer gekompenseerd. De denitrifikatie die plaats vindt zal dan ook te verwaarlozen zijn ten opzichte van de andere posten.

C1 Berging, als negatieve of positieve post, in de waterfase door verhoging van de concentratie en/of toename van de hoeveelheid water betreft kleine waarden, die over langere perioden geen betekenis meer hebben.

C2 Nutriëntenhoeveelheden in het sediment kunnen door middel van sedimentatie of resuspensie wel toe of afnemen. In perioden met veel afvoer overheerst resuspensie en in perioden met weinig afvoer overheerst sedimentatie. Uit monsternamen bleek, dat de nutriënten in beekbodems met stromend water wel varieerde, doch deze variatie is klein ten opzichte van de andere bronnen, zeker over langere perioden gezien.

5.3. Hierdensebeekgebied

5.3.1. Gebiedsbeschrijving

5.3.1.1. Topografie

De Hierdensebeek is gelegen op de Noord-west Veluwe en stroomt van het Uddelermeer naar het Veluwemeer. De beek is in drie gedeelten te verdelen.

1. Een bovenstroomsgedeelte, stromend door een lager gelegen landbouwgebied.

Dit gedeelte wordt gevoed door kwelwater afkomstig van talloze sloten en beekjes liggend boven een slecht doorlatend pakket (zie figuur 8 en bijlage 2).

2. Een middelgedeelte, stromend door een hoger gelegen bosgebied. In dit gedeelte overheerst de wegzijging, het slecht doorlatende pakket is niet of nauwelijks aanwezig en er zijn weinig zijbeken.
3. Een benedenstroomsgedeelte in de randzone tegen het Veluwemeer liggend, bestaande uit hoofdzakelijk weilanden. De beek krijgt in dit gedeelte weer toestroming van veel sloten en zijbeken en door diepte kwel.

Het onderzoek richt zich op het bovenstroomse gedeelte, omdat hoofdzakelijk in dit gebied de beïnvloeding van het beekwater door de hier aanwezige intensieve veehouderij plaatsvindt. Interessant is hierbij dat ten gevolge van de hier aanwezige slecht doorlatende laag in de ondergrond het gebied als een vrijwel gesloten hydrologische eenheid kan worden beschouwd. Het meetpunt bevindt zich dan ook op de overgang van gebied 1 naar gebied 2. De oppervlakte van het bovenstroomse gebied van de Hierdensebeek bedraagt 2.460 ha (Lit. 8). Lit. 9 geeft hiervoor 2.573 ha. De eerste waarde is voor de berekening aangehouden.

Aangezien de oppervlakte van het gebied met de niet-zichtbare afwatering, liggend langs de randen van het lokale systeem, vrij gering is, is de oppervlakte hiervan niet apart aangegeven.

5.3.1.2. Geomorfologie

Het dal van de Hierdensebeek ligt ingesloten tussen stuwwallen (Fig. 9). Aan de westkant ligt de stuwwal van Garderen en aan de oostkant liggen de stuwwallen van de Oostelijke Veluwe en die van de Stakenberg, die ten noorden van Elspeet ligt. Deze stuwwallen zijn, wat vooral blijkt uit de verschillende strekkingsrichtingen van de gestuwde afzettingen, door verschillende ijsbewegingen ontstaan (zie figuur 10). De stuwwallen zijn opgebouwd uit voornamelijk grove rivierafzettingen, die door de Rijn, de Maas en de oostelijke rivieren zijn aangevoerd voor de Saale-ijstijd (de voorlaatste ijstijd, zie figuur 11). Deze Pleistocene afzettingen van Urk, Sterksel, Enschede en Harderwijk zijn opgestuwd tijdens het Saalien, terwijl er ook ijs- en smeltwaterafzettingen aan de flanken van de stuwwallen, de zogenaamde kame-terrassen, ontstonden (Formatie van Drente). Tijdens de laatste ijsbeweging in het Saalien wordt de Stakenberg gevormd. Deze berg en het ijsfront sloot het dal van de Hierdensebeek in noordelijke richting af. Er vormde zich zo een blokkade van het afwateringsstelsel en in het dal vormde het stagnerende water kleiïge afzettingen. De kleidikte varieert van minder dan 1 meter tot ongeveer 30 meter en de bovenkant bevindt zich 1 tot 30 meter beneden het maaiveld.

De stuwwallen worden aan de onderkant begrensd door fijnere rivierafzettingen waarin slecht doorlatende kleilagen voorkomen (Formatie van Tegelen). Onder deze afzettingen bevindt zich een pakket fijne mariene zanden, dat in het oud-Pleistoceen (Formatie van Maassluis) en in het Plioceen is gesedimenteerd. Op grond van gegevens buiten de Veluwe kan verwacht worden, dat hieronder de slecht doorlatende basis volgt, bestaande uit oudere tertiaire kleiïge afzettingen.

Tijdens het op het Saalien volgende interglaciaal, het Eemien, zijn in het dal van de Hierdensebeek geen mariene afzettingen ontstaan.

Het landijs drong tijdens de laatste ijstijd, het Weichelien, niet tot Nederland door. De bodem bevond zich tot 80 à 100 meter in een permanent bevroren toestand (permafrost). Water, dat door dooi tijdens het voorjaar vrijkwam, kon door de bevroren bodem niet infiltreren en stroomde horizontaal af. Door deze situatie konden zich vele dalen vormen of werden bestaande dalen uitgediept.

Na het ontdooien van de ondergrond kon het water weer infiltreren en op deze wijze ontstonden de op sommige plaatsen in het stroomgebied van de Hierdense beek nu nog herkenbare droge dalen, die onder normale omstandigheden geen deel meer uitmaken van het huidige drainagesysteem. Door de grote horizontale afstroming werd het dal verder opgevuld met materiaal uit de stuwwallen en kame-terrassen, de smeltwaterafzettingen.

Op deze smeltwaterafzettingen werd tijdens het Weichelien dekzand afgezet, zodat de kleiafzettingen uit het Saalien zich nu nergens aan de oppervlakte bevinden.

5.3.1.3. Geohydrologie (Lit. 8, Lit. 9 en Lit. 17)

In het gehele Noord-Veluwe gebied is in het algemeen sprake van één watervoerend pakket, gevormd door de Formaties van Enschede en Harderwijk (Figuur 12).

De Formatie van Tegelen, die de basis van dit watervoerende pakket vormt ligt op ongeveer - 160 m N.A.P. Het doorlaat vermogen, de kD -waarde, varieert van 6.000 tot 8.000 m^2/dag . Zoals uit de geomorfologie van het Hierdense beekgebied blijkt, komt hier plaatselijk een slecht doorlatende laag voor, behorend tot de Formatie van Drente. De verticale hydraulische weerstand, de c -waarde, bedraagt in het dal van de beek nabij speuld ongeveer 14.000 dagen. Ter plaatse van Ermelo bedraagt het stijghoogte verschil tussen de watervoerende pakketten onder en boven kleiafzettingen + 9 meter.

Het stromingsbeeld

Ter plaatse van het stuwwallengebied en in de overgangszone naar het kwelgebied wordt het geïnfiltreerde water alleen via de ondergrond afgevoerd. Sprengengebieden, zoals op de Oost-Veluwe komen hier allen bij Speuld voor.

Zoals al is geconstateerd, bevindt zich in het Hierdense beekgebied een lokaal ondiep systeem binnen het regionale systeem van de Noord-Veluwe. Hier ter plaatse maakt men onderscheid tussen een diep en een ondiep grondwatersysteem. De relatie van het lokale systeem met het regionale systeem is beperkt, gezien het geringe percentage (circa 10%), dat vanuit het Hierdense beekgebied in het regionale systeem wordt opgenomen.

Voor de berekening van de kwelhoeveelheid is er van uitgegaan dat van de geïnfiltreerde waterhoeveelheid 25% in het ondiepe systeem, en 75% in het diepe systeem terecht komt. Deze waarden zijn afkomstig van de Dienst Waterbeheer Provincie Gelderland (Lit. 8). In het gebied waar beide systemen voorkomen (Harderwijk - Nunspeet), treedt in de randgebieden langs het Veluwemeer een veel grotere kwelstroom op (2,5 - 3,0 mm/dag), dan in de randgebieden grenzend aan infiltratiezones met één watervoerend pakket (Harderwijk - Ermelo), (0,2 - 0,3 mm/dag).

5.3.1.4. Landgebruik

Bewoning

In en om het onderzochte deel van de Hierdensebeek liggen de volgende dorpen en woonkernen (W.K.B.P. 1981/1985):

Speulde (1981)	471 (o)	inw.;	1036 (o)	recreatie ((1/2-3/4))
Elspeet (1981)	1987 (1985)	inw.;	1089 (477)	recreatie ((1/4-1/2))
Uddel (1981)	1180 (o)	inw.;	288 (o)	recreatie ((1/3-2/3))
Uddel (1985)	1130 (665)	inw.;	288 (o)	recreatie ((1/3-2/3))

De getallen tussen de "enkele haakjes" geven de aantallen inwoners aan, die op de riolering zijn aangesloten. De getallen tussen de "dubbele haakjes" geven het geschatte deel van de niet-gerioleerde inwoners aan, waarvan het afvalwater in het ondiepe grondwaterpakket of in het oppervlaktewater van het Hierdense beekgebied terecht komt en waarmee in deze studie rekening moet worden gehouden bij de balansberekeningen.

Verder liggen in het gebied de woonkernen Meerveld en Kleine Kolonie, deze worden niet apart in het W.K.B.P. genoemd.

Meerveld ((1/2-1)).

Kleine Kolonie ((1)).

Door middel van de kaart (schaal 1 : 10.000) zie bijlage 2 is een schatting gemaakt van het aantal niet-gerioleerde inwoners van deze twee kernen, namelijk totaal 600 inwoners.

Totaal is voor 1984, 2.000 niet-gerioleerde i.e.'s en voor 1985, 1.600 niet-gerioleerde i.e.'s aangehouden.

Bodem en grondwaterstanden

De kwelgebieden komen vrijwel overeen met de kultuurgebieden, de natuurgebieden vormen de voornaamste infiltratiegebieden. De kultuurgebieden hebben ten opzichte van de meeste natuurgebieden een hoge grondwaterstand, omdat de klei hier veelal slechts enkele meters onder het maaiveld ligt.

Bestudering van de bodemkaarten (STIBOKA, 32-0/1965, 33-W/1979, 26-0/1982 en 27-W/1982) levert het volgende beeld op. Van het oppervlak van het bovenstroomse gedeelte (2.460 ha) heeft 23% de Gt-waarden II of III, 80% hiervan bestaat uit leemhoudende grond. De rest heeft hogere Gt-waarden.

Op de Noord-West Veluwe liggen een aantal landbouwkernen temidden van heidevelden en bossen. Het areaal landbouwgrond bestaat voor 80 à 90% uit grasland (1977). De landbouwbedrijven in het gebied beschikken over relatief weinig kultuurgrond. Het zijn voor het merendeel intensieve veehouderijen met een hoge mestproduktie per oppervlakte-eenheid grond.

De veebezetting in het stroomgebied van de Hierdensebeek wordt gelijk genomen aan het gemiddelde van de gemeenten Ermelo, Harderwijk en Nunspeet. Dit aantal bedroeg in 1984 10,6 g.v.e./ha kultuurgrond. Het (bovenstroomse) afwateringsgebied van de Hierdensebeek heeft een oppervlakte van 2.430 ha.

De oppervlakte van de kultuurgrond bedraagt 995 ha (1984), dit is 40,4% van het (bovenstroomse) afwateringsgebied. Van deze kultuurgrond is 858 ha (86,2%) grasland en 137 ha (13,8%) bouwland, waarvan 114 ha (11,5%) maisland. De oppervlakte van natuurgebied (bos en hei) bedraagt 1.365 ha. Het stedelijk gebied heeft een oppervlakte van 70 ha, hiervan is 20 ha verhard.

In tabel 6B staat de voor bemesting beschikbare mineralenhoeveelheid per hectare kultuurgrond (995 ha) vermeld.

	hoeveelheid mineralen	
	Tot-P	Tot-N
zuiveringsslib	2	5
kunstmest	5	181
dierlijke mest	88	330
totaal	95	516

Tabel 6B

De voor bemesting beschikbare mineralen per oppervlakte kultuurgrond in het Hierdense beekgebied in 1984 (Lit. 20 en 21).

5.3.2. Waterbalansen Hierdense beek

A. Aanvoer

1. direkte neerslag op open water
2. uit- en afspoeling van natuur- en kultuurgrond
3. effluent r.w.z.i.'s en k.g.z.i.'s
4. overstorten van rioolstelsels
5. afvoer van de verspreide bebouwing in het buitengebied
6. lozing door agrarische bedrijven
7. kwel van buiten het gebied (grondwaterinstroming)

B. Afvoer

1. Van het bovenstroomse naar het midden gedeelte van de Hierdensebeek
2. verdamping van open water
3. onttrekkingen
4. wegwijzing

C. Berging

1. peilwisseling

$A7 - B4 = \text{netto kwelafvoer of grondwaterafvoercomponent (Qg)}$

$A1 + A3 \text{ t/m } A6 - B2 - B3 + Qg = \text{basisafvoer.}$

Hierdense beek waterbalans

1984 - 366 dagen

1-1-1985 - 1-9-1985 - 243 dagen

A1	92.700 m3	(927 mm)	A1	51.050 m3	(510,5 mm)
A2	10.901.065 m3 (90,4%)	(449 mm)	A2	6.081.062 m3 (89,2%)	(250 mm)
A3	-		A3	-	
A4	-		A4	-	
A5	293.600 m3 (2,4%)		A5	198.655 m3 (2,9%)	
A6	3.300 m3		A6	2.195 m3	
A7	<u>732.000 m3 (6,1%)</u>		A7	<u>486.000 m3 (7,1%)</u>	
	12.022.665 m3			6.818.962 m3	

B1	11.962.465 m3		B1	6.761.462 m3	
B2	60.200 m3	(602 mm)	B2	57.500 m3	(575 mm)
B3	-		B3	-	
B4	<u>-</u>		B4	<u>-</u>	
	12.022.665 m3			6.818.962 m3	

C1	-		C1	-	
----	---	--	----	---	--

grondwaterafvoerkomponent:

1984 - 2.000 m3/d

1985 - 2.000 m3/dag

basisafvoer:

1984 - 2.900 m3/d

1985 - 2.800 m3/dag

5.3.3. Stoffenbalans Hierdense beek

A. Aanvoer

1. direkte neerslag op open water
2. uit- en afspoeling van natuur- en kultuurgrond
3. effluent van r.w.z.i.'s en k.g.z.i.'s
4. overstorten
5. afvoer van de verspreide bebouwing in het buitengebied
6. lozing door agrarische bedrijven
7. kwel van buiten het gebied (grondwaterinstroming)

B. Afvoer

1. afvoer via de Hierdense beek
4. wegzijging (grondwateruitstroming)
5. denitrifikatie van stikstof

C. Berging

1. in de waterfase door verhoging van de concentraties en/of toename van de waterhoeveelheid (peilwisseling)
2. sedimentatie en resuspensie

Hierdense beek stoffenbalans 1 januari 1984 - 31 december 1984

	Tot-P		Tot-N		
	kg	%	kg	%	
A1	9	0,1	236	0,2	
A2	6.134	82,6	141.222	96,8	
A3	-	-	-	-	
A4	-	-	-	-	
A5	804	10,8	2.196	1,5	
A6	264	3,6	66	0	
A7	<u>212</u>	2,9	<u>2.123</u>	1,5	
	7.424		145.843		
B1	7.424		145.843		C1 -
B4	-		-		C2 -
B5	<u>-</u>		<u>-</u>		
	7.424		145.843		

Hierdense beek stoffenbalans 1 januari 1985 - 1 september 1985

	Tot-P		Tot-N		
	kg	%	kg	%	
A1	8	0,2	04	0,2	
A2	1.738	50,1	80.944	96,0	
A3	-	-	-	-	
A4	-	-	-	-	
A5	642	18,5	1.752	2,1	
A6	264	7,6	66	0,1	
A7	<u>816</u>	23,6	<u>1.361</u>	1,6	
	3.468		84.327		
B1	3.468		84.327		C1 -
B4	-		-		C2 -
B5	<u>-</u>		<u>-</u>		
	3.468		84.327		

A1 Voor de neerslag op open water is de K.N.M.I.-waarde aangehouden van het distrikt waarin de Hierdensebeek ligt (distrikt nummer 8, voor de distrikten indeling zie figuur 15). De neerslag bedroeg in 1984 927 mm (normaal 815 mm) en in de periode 1 januari 1985 - 1 september 1985 510,5 mm (normaal 526 mm). De oppervlakte van het open water bedraagt ongeveer 10 ha. Dit is met een kaart (schaal 1 : 10.000) bepaald. Voor het regenwater is een concentratie van 0,10 mg Tot-P/l en een concentratie van 2,5 mg Tot-N/l aangehouden (K.N.M.I. 78/80 en Appelo '82).

A2 Sluitpost, het neerslaggedeelte dat via de bodem in het oppervlaktewater terecht komt. De laagdikte is berekend met een oppervlakte van 2.430 ha voor het totale afwateringsgebied.

A3 In het stroomgebied wordt geen effluent van r.w.z.i.'s of k.g.z.i.'s op de beek geloosd.

A4 Er bevindt zich één overstort in het verbeterd gescheiden stelsel van Uddel met een overstortfrequentie van gemiddeld 5 keer per jaar. Nadere gegevens ontbreken, doch de aanname dat de water- en stoffenhoeveelheden te verwaarlozen zijn ten opzichte van de andere posten lijkt niet onrealistisch.

A5 Er is vanuit gegaan dat de bijdrage in de waterbalans direct tot afvoer komt. Dit is wellicht niet terecht, doch de bijdrage is minimaal. Volgens 5.3.1.4. zijn er in 1984 en 1985 respectievelijk 2.000 en 1.600 niet gerioleerde i.e.'s (bijlage 7.3.). Volgens het W.K.B.P. bedraagt het waterverbruik per i.e. 155 l/dag. Per i.e. komt 1,1 g Tot-P en 3,0 g Tot-N in het oppervlaktewater terecht (bijlage 7.1).

A6 Bij 22% van de agrarische bedrijven komt spoelwater van melkapparatuur in het oppervlaktewater terecht met een gemiddelde hoeveelheid van 50 m³/jaar en een gemiddelde samenstelling van 80 mg Tot-P/l en 20 mg Tot-N/l (zie 6.1.).

Het totaal aantal agrarische bedrijven is door middel van een globale telling bepaald (300). Zie ook opmerkingen bij A6 Lunterse beek.

- A7 De netto kwelwaterhoeveelheid (= grondwaterinstroming - grondwateruitstroming) bedraagt volgens de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland $0,5 \text{ à } 1,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$, dit komt overeen met $1.370 \text{ à } 2.740 \text{ m}^3/\text{dag}$. Op grond van het afvoerverloop van de beek in langere droge perioden is gekozen voor een gemiddelde netto kwelwaarde van $2.000 \text{ m}^3/\text{dag}$. (zie bijlage 7.4). De stoffenconcentratie in deze grondwaterafvoercomponent bedraagt $0,2 \text{ mg Tot-P/l}$, $0,5 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$ en $1,5 \text{ mg Kj-N/-}$ (zie 3.4.).
- B1 De afvoerhoeveelheden en de stoffenconcentraties zijn in de periode 1 januari 1984 tot 4 juli 1984 wekelijks en in de periode 4 juli 1984 tot 1 september 1985 praktisch dagelijks bepaald.
- B2 De verdamping uit open water is berekend met behulp van verdampingswaarden van het K.N.M.I. De verdamping bedroeg in 1984 - 602 mm en voor de periode 1 januari 1985 tot 1 september 1985 575 mm .
- B3 Op jaarbasis zijn deze hoeveelheden te verwaarlozen.
- B4 De grondwateruitstroming in het gebied is volgens de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland te verwaarlozen.
- B5, C1 en C 2. Zie opmerkingen bij respectievelijk B5, C1 en C2 Lunterse beek.

6. Uitwerking toegepaste onderzoeksmethode

6.1. Inleiding

Om de hiervoor beschreven onderzoeksmethode te kunnen toepassen in een beekgebied zijn de onderstaande gegevens van dat beekgebied nodig.

- a. Dagelijks debiet- en concentratiemetingen (NO₃-N, K_j-N en PO₄-P) over een periode van minimaal een jaar.
- b. Gegevens betreffende het stroomgebied:
 - b1 oppervlakte niet/wel zichtbare afwatering.
De gegevens b2 t/m b7 zijn niet direct noodzakelijke gegevens maar zijn gewenst om een betere interpretatie van de onderzoeksresultaten;
 - b2 bodem: grondsoorten begroeiing en grondwaterstanden;
 - b3 geomorfologie van de bodem;
 - b4 geohydrologische opbouw van de bodem;
 - b5 landgebruik: natuur, landbouw en stedelijke gebied;
 - b6 terreinhellingen;
 - b7 veebezetting in het stroomgebied.
- c. Grondwaterstroming van/naar stroomgebied en de concentratie van de onderzochte stoffen hierin.
- d. Andere bronnen van water- en stoffentoevoer:
 - d1 lozingen van ongezuiverd afvalwater, zoals niet gerioleerde woningen, bedrijfsafvalwater (industrie, intensieve veehouderij en recreatie);
 - d2 effluentlozingen van zuiveringsinrichtingen, overstortlozingen en gegevens over het type rioolstelsel;
 - d3 neerslaggegevens;
 - d4 oppervlakte van het open water.

Voorkomende problemen bij de toegepaste berekeningsmethode.

- A. Waar ligt de grens tussen de interflow en grondwateruitstroming?

De grens is kunstmatig. Uitgaande van de omschrijving genoemd in 3.2. is de interflow de afvoer via de bovenste bodemlaag. Ook zou het best kunnen voorkomen, dat de afvoer van de ene naar de andere transportweg overgaat.

- B. Uitgaande van de lineaire reservoirtheorie voor de drie afvoercomponenten blijken de reservoircoëfficiënten voor elk reservoir niet konstant. De coëfficiënten van de snellere reservoirs variëren het meest. De coëfficiënt van het interflow reservoir is o.a. afhankelijk van de hoeveelheid neerslag, de intensiteit, de antecedente neerslag index (A.P.I.). Het langzaam reagerende reservoir van de grondwaterafvoer blijkt sneller leeg te lopen naarmate de omstandigheden natter zijn, o.a. ten gevolge van een hogere grondwaterspiegel. De reservoircoëfficiënt van het snelst reagerende reservoir van de oppervlakteafvoer varieert het meest. Deze is o.a. afhankelijk van de hoeveelheid neerslag, de intensiteit en antecedente vochtkondities. In een wintersituatie met een hogere grondwaterstand en minder verdamping blijken de reservoircoëfficiënten het meest stabiel te zijn. In de periode juni-september blijken in dit onderzoek zelfs zware buien (groter dan 15 mm), niet waarneembare oppervlakteafvoer te geven. Voor de bestudering van de hoogwatergolven kan in dit geval met de periode september-juni volstaan worden. Om echter de hoeveelheden stoffen te bepalen, die niet afkomstig zijn van de landbouw zijn de gegevens van het hele jaar nodig (zie Lit. 9).

- C. Ten gevolge van bio-chemische processen veranderen de concentraties van de diverse meststofcomponenten in de grond. Dit gebeurt vooral in de bovenste bodemlagen in de zomersituatie. Van grote invloed zijn: de begroeiing, de bodemeigenschappen, de grondwaterstand en de drainageintensiteit. De fosfaat-, de stikstof- en de sulfaatkonzentraties in de bodem worden sterker

beïnvloed door de bio-chemische processen in de bodem. Fysisch-chemische processen beïnvloeden de kaliumconcentratie in de bodem. (Lit. 17 en 22).

Verder speelt bij het fosfaat de vastleggingscapaciteit van de bodem een grote rol. De meer "konservatieve" stoffen zoals het chloride, het natrium en het koperion worden praktisch niet beïnvloed door de bio-chemische processen in de bodem. Vooral voor het ondiepe grondwater betekent dit, zowel qua plaats als qua tijd een grote variatie aan mineralenconcentratie.

De eigenschappen van de sedimenten op de Veluwe (het infiltratiegebied van de Hierdense en Lunterse beken) brengen met zich meet, dat de diepe grondwatersamenstelling van nature niet veel variatie vertoont. MEINARDI (1974) heeft aangetoond dat de diepe grondwater samenstelling voor een deel gelijk is aan de samenstelling van regenwater als deze gecorrigeerd wordt voor de indamping die optreedt als gevolg van evapotranspiratie. De geringe reaktiviteit van de sedimenten wordt veroorzaakt door de geringe hoeveelheden organisch materiaal, het zeer hoge gehalte kwarts en de dikke onverzadigbare zone die weinig of geen kalk bevat. Het is daarom gerechtvaardigd om C_g konstant te nemen.

De problemen, genoemd bij A en B worden gedeeltelijk opgelost door een konstante basisafvoer te nemen. Deze vereenvoudiging beïnvloed de resultaten nauwelijks, zoals later zal blijken.

De basisafvoer is bepaald door de netto kwelhoeveelheid (= grondwaterafvoercomponent Q_g) te sommeren met de afvoer van de niet-gerioleerde bebouwing en eventueel andere voorkomende bronnen in het stroomgebied. Tot deze laatste categorie behoren ook de direkte lozingen op het oppervlaktewater, zoals effluent van r.w.z.i.'s, overstorten en neerslag op open water. De kwelhoeveelheden zijn overgenomen uit een hydrologisch onderzoek van de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland (Lit. 8). De concentratie van het O_g , de C_g van het kwelwater is vastgesteld in overleg met STEENVOORDEN en OOSTERLOO (zie 3.4.). Voor de C_g van het NO_3-N is 0,5 mg/l aangehouden, VASAK 1978 (Lit. 9) geeft voor

het ondiepe watervoerende pakket boven de Eemklei van het regionale Veluwe systeem, de natuurgebieden een gemiddelde voor het NO₃-N van 0,12 mg/l. Voor de Cg van het PO₄-P is 0,2 mg/l aangehouden, VASAK-1978 geeft hiervoor een gemiddelde waarde van 0,13 mg/l. En voor de Cg van het Kj-N is een waarde van 1,5 mg/l aangehouden, het NH₄⁺-N gehalte bedraagt volgens Vasak gemiddeld 0,23. Voor het regionale Veluwerandsysteem, met matig tot sterk gemineraliseerd water, is de invloed van de bemesting van de hoger gelegen landbouwgronden al merkbaar. De waarden van de meststof specifieke componenten in het ondiepe grondwater varieert sterk en bedraagt volgens VASAK-1978 voor het NO₃-N van minder dan 1 tot 34,2 mg/l, voor het PO₄-P van 0,0 tot 0,3 mg/l en voor het NH₄-N van 0,1 tot 3,1 mg/l.

De afvoer van de niet-gerioleerde bebouwing en het bedrijfsafvalwater is bepaald met behulp van gegevens het W.K.B.P. 1981-1985 van het zuiveringsschap Veluwe. De fosfaat- en stikstofbelasting van de niet gerioleerde bebouwing van het oppervlaktewater is afkomstig van een enquête van het zuiveringsschap Veluwe in het afwateringsgebied van de Nattegatsloot uit 1979. De twee onderzochte beekgebieden zijn vergelijkbaar met dit afwateringsgebied en de resultaten (uitgewerkt in bijlage 7.1) zijn dan ook representatief voor deze gebieden. Bedrijfsafvalwater afkomstig van agrarische bedrijven kan ook gedeeltelijk in het grond- en oppervlaktewater terecht komen. Door BALTJES en DIEPEVEEN (1975) is een onderzoek gedaan naar de kwantiteit en de kwaliteit van spoelwater van melkapparatuur. Vergelijking van deze resultaten met die van de enquête van het zuiveringsschap Veluwe levert een gemiddelde spoelwaterlozing van 50 m³/jaar per bedrijf met een gemiddelde samenstelling van 80 mg P/l en 20 mg N/l in de gevallen dat spoelwater van melkapparatuur in het oppervlaktewater terecht komt (22%).

Behalve spoelwater van melkapparatuur bereiken nog meer nutriëntenvruchten van agrarische bedrijven het grond- en oppervlaktewater. Dit gebeurt o.a. via spoelwater van stallen, via spoelwater

afkomstig van voederbereiding, via uittredend vocht uit mest-
vaalten, via lekkende en/of overstortende gierkelders en via klan-
destiene lozingen gier en mest. Deze hoeveelheden zijn echter
moeilijk te schatten, doch via enquetes is gekonstateerd dat ze
veelvuldig kunnen voorkomen. De stoffenhoeveelheid is dien-
tegevolge opgenomen in de sluitpost A2 (zie stoffenbalans) en de
waterhoeveelheid is opgenomen in de basisafvoer (zie bijlage 7.4).

Gegevens over effluentlozingen op het oppervlaktewater in het
stroomgebied van r.w.z.i.'s en overstorten zijn afkomstig van het
zuiveringsschap Veluwe.

Direkte neerslag op het oppervlaktewater is bepaald door middel
van regenwaarnemingsstations van het K.N.M.I. Koncentratiemetingen
van stoffen in het regenwater in Nederland lopen uiteen voor het
N-tot van 1,1 tot 3,6 mg/l en voor het P-tot van 0,08 tot
0,25 mg/l. De concentraties van het N-tot en het P-tot is door
OOSTERLOO (1984) respektievelijk 3,1 en 0,1 mg/l aangehouden voor
een balansstudie van het Lunterse beekgebied (Lit. 16). Omdat in
dit onderzoek gebruik gemaakt is van gegevens van deze balansstu-
die deze laatste waarden in de berekening van het Lunterse beek-
gebied aangehouden.

Het N-tot gehalte is op basis van andere gegevens aan de hoge
kant, daarom zijn in de berekening van het Hierdense beekgebied
de K.N.M.I. waarden aangehouden namelijk 2,5 mg N-tot/l en
0,1 mg P-tot/l.

6.2. Lunterse beekgebied

6.2.1. Aannames en uitgangspunten

De oppervlakte van het zichtbare afwateringsgebied en het infiltratiegebied bedraagt volgens 5.2.1.1. respectievelijk 5.370 en 5.000 ha.

Volgens de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland bedraagt de gemiddelde kwelhoeveelheid in het stroomgebied van de Lunterse beek 0,3 mm/dag, plaatselijk meer dan 0,5 mm/dag (Lit. 8). Uitgaande van 8.000 ha voor de totale kwelzone geeft dit een gemiddelde netto kwelafvoer (grondwaterafvoercomponent Q_g) van ongeveer 0,300 m³/s of 25.920 m³/dag.

De stoffenvracht in de basisafvoer van de beek is gesplitst in een netto kwelafvoer groot 0,300 m³/s met een concentratie van 0,2 mg Tot-P/l, 0,5 mg NO₃-N/l en 1,5 mg Kj-N/l (zie 6.1.) en een stoffenvracht, die is samengesteld uit A1 + A3 tot en met A6 (zie 5.2.2.) en berekend is in bijlage 7.2. Voor deze laatste vracht is een gemiddelde waarde van 30.078 kg Tot-P/dag en 111.272 kg Tot-N/dag berekend voor de onderzochte periode. Hierbij is aangenomen dat de berekende Tot-N waarde alleen uit Kj-N bestaat in deze stoffenvracht.

Verder is aangenomen dat de oppervlakte-afvoercomponent te verwaarlozen hoeveelheden NO₃-N ten opzichte van de interflow-afvoercomponent bevat (zie 3.4.). De concentratie van de oppervlakteafvoercomponent van het Tot-P is berekend door de concentratie van de interflow (C_i) van 0,6 tot 1,8 mg Tot-P/l te laten variëren. Ditzelfde is gebeurd bij het Kj-N bij een interflow-koncentratie van 2 tot 4 mg Kj-N/l. Hierdoor is de invloed van variatie in de C_i -waarde op de grootte van de C_g -waarde zichtbaar gemaakt.

Deze variatie betreft alleen de concentratie van de interflow in perioden met oppervlakteafvoer ($C_i(+s)$), omdat de concentratie van de interflow in perioden zonder oppervlakte-afvoer ($C_i(-s)$) vast ligt en bepaald wordt door de gemeten totale stoffenvracht en de verdeling van Q_g (met de gekozen C_g) en Q_i (zie formule 2 in hoofdstuk 3.4.).

Hierna is de invloed van de variatie van de grootte van de oppervlakteafvoer op de concentratie van de stoffen in de oppervlakteafvoercomponent bekeken.

6.2.2. Uitwerking en resultaten

Allereerst is met behulp van de afvoer- en de concentratiegegevens de afvoerverlooplijn op half logaritmisch papier uitgezet, een gedeelte hiervan is op bijlage 4.1 weergegeven. Hierna is de grondwaterafvoerkomponent aangegeven ($Q_g = 0,300 \text{ m}^3/\text{s}$ oftewel $25.920 \text{ m}^3/\text{d}$).

Hierna is volgens de in 3.3. beschreven methode de oppervlakte-afvoerhoeveelheid bepaald. Door nu de afvoerverlooplijn te verdelen in perioden met en zonder oppervlakte-afvoer ontstaan 26 perioden.

Om de maandvrachten te kunnen controleren is ook aan het begin van elke maand met een nieuwe periode begonnen. Per periode is zo de C_i van het $\text{NO}_3\text{-N}$, de C_s van het Tot-P en de C_s van het Kj-N berekend. Verder zijn over de gehele periode (1-10-'82/1-6-'83) de gemiddelde C_i en C_s waarden bepaald. De gebruikte formules staan in bijlage 3. In bijlage 4.2 staan de perioden met de berekende concentraties. In tabel 8.1. en 8.2. staan de resultaten van de Lunterse beek.

Bepaling Cs (mg Tot-P/l) Lunterse beek 1/10'82 - 1/6'82					
Ci(-s) = 1,8 mg Tot-P/l (neerslag +48%)					
Ci(+s) (mg Tot-P/l)	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
stel Qs was : 8	17,1	15,3	13,5	11,7	10,0
Qs optredend : 12,9	10,5	9,4	8,3	7,2	6,1
stel Qs was : 20	6,8	6,1	5,4	4,7	4,0

Bepaling Cs (mg Kj-N/l) Lunterse beek			
Ci (-s) = 6,3 mg Kj-N/l 1/10'82 - 1/6'83			
Ci(+s) (mg Kj-N/l)	2	3	4
stel Qs was : 8	33,4	27,5	21,6
Qs optredend : 12,9	20,6	16,9	13,3
stel Qs was : 20	13,3	10,9	8,6

Tabel 8.1. en 8.2.

Bepaling gemiddelde Cs-waarden bij verschillende Ci(+s) en Qs-waarden, Lunterse beek (1 oktober 1982 - 1 juni 1983).

(Cs: concentratie oppervlakteafvoer; Ci(+s) : concentratie interflow in perioden met oppervlakteafvoer; Qs: oppervlakteafvoerhoeveelheid)

De vraag is of de berekende waarden voor de gehalten in de afvoercomponenten C_i en C_s reëel zijn in tabel 8.1. en 8.2. In het onderzoek van OOSTEROM EN STEENVOORDEN (1980, nota 1237-ICW) kwam naar voren dat bij bemesting met circa 20 m³ rundveedrijfmest in de surface runoff één dag later de gemiddelde gehalten circa 55 g/m³ Kjeldahl-N en 7 g/m³ P bedroegen (zie Fig. 16).

Daarna daalt de concentratie vrij snel. Bij een gebruik van varkensdrijfmest zouden de gehalten hoger zijn geweest omdat de samenstelling van de mest ander is:

	Kjeldahl-N (kg/ton mest)	P ₂ O ₅ (kg/ton mest)	Tot-P (kg/ton mest)
rundveedrijfmest (RDM)	4,4	1,8	0,8
varkensdrijfmest (VDM)	6,8	4,4	1,9

Een vrij extreme bemestingssituatie voor een stroomgebied, uit oogpunt van oppervlakteafvoer, zou zijn als in het gehele stroomgebied één dag voor de oppervlakteafvoer alle kultuurgrond bemest is met circa 20 m³/ha, waarvan 50% RDM en 50% VDM. De gehalten zouden dan 70 g/m³ N en 12 g/m³ zijn geweest. De voor Kjeldahl-N berekende gebiedsgemiddelden, variërend van 9-33 g/m³ N lijken akseptabel. De gehalten bij P variëren van 4-17 g/m³. Het meest reëel lijkt een waarde van C_i van circa 1,8 g/m³ P en C_s -waarden in de range van 4-10 g/m³ P.

De hoeveelheid mineralen, afkomstig van de uit- en afspoeling van landbouwgronden, in de beekafvoer via de drie verschillende afvoerwegen zijn ook in kg per ha kultuurgrond berekend. In tabel 9 zijn de resultaten van de Luntersebeek weergegeven.

Nadere beschouwing van deze tabel levert het volgende op.

Voor zowel P, Kj-N en NO₃-N is de bijdrage via de interflow overheersend. Met name voor P en Kj-N is dit opmerkelijk. Tot nu toe is een dergelijke belangrijke rol van de interflow nog niet naar voren gekomen in een onderzoek.

6.3. Hierdense beekgebied

6.3.1. Aannamen en uitgangspunten

De oppervlakte van het stroomgebied van het bovenstroomse gedeelte van het Hierdense beekgebied bedraagt volgens 5.3.1.1. 2.460 ha.

Volgens de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland bedraagt de grondwaterinstroming in het te onderzoeken gebied 0,5 à 1,0 10^6 m³/jaar, dit komt overeen met 1.370 à 2.740 m³/dag. Aan de hand van gegevens over de beekafvoer in een langdurig droge periode en de afvoer van de niet-gerioleerde bebouwing (zie 5.3.2.) 5.3.2.) is voor de totale basisafvoer 1984, 2.900 m³/dag en voor 1985, 2.800 m³/dag aangehouden (zie bijlage 7.4.)

De stoffenvracht in deze basisafvoer is gesplitst in een netto kwelafvoer groot 2.000 m³/dag met een concentratie van 0,2 mg Tot-P/l, 0,5 mg NO₃-N/l en 1,5 mg Kj-N/l (zie 6.1.) en een afvoer van de niet-gerioleerde bebouwing groot 900 en 800 m³/dag in respektievelijk 1984 en 1985 met stoffenvrachten samengesteld uit A1 + A3 tot en met A6 (zie 5.3.2.).

Deze stoffenvracht, samengesteld uit A1 + A3 tot en met A6, is berekend in bijlage 7.3 en bedraagt voor 1984: 2,945 kg Tot-P/dag en 6,825 kg Tot-N/dag en voor 1985: 2,504 kg Tot-P/dag en 5,540 kg Tot-N/dag. Hierbij is aangenomen dat de berekende Tot-N waarde alleen uit Kj-N bestaat in deze stoffenvracht (zie bijlage 7.3.).

Verder is aangenomen dat de oppervlakteafvoercomponent te verwaarlozen hoeveelheden NO₃-N ten opzichte van de interflow-afvoercomponent bevat (zie 3.4.).

De concentratie van de oppervlakte-afvoercomponent van het Tot-P is berekend door de concentratie van de interflow (Ci) van 0,3 tot 0,9 mg Tot-P/l te laten variëren. Ditzelfde is gebeurd bij het Kj-N bij een interflow-concentratie van 2 tot 4 mg Kj-N/l. Hierdoor is de invloed van de variatie in de Ci-waarde op de grootte van de Cs-waarde zichtbaar gemaakt.

Deze variatie betreft alleen de concentratie van de interflow in perioden met oppervlakte-afvoer ($C_i(+s)$), omdat de concentratie van de interflow in perioden zonder oppervlakte-afvoer ($C_i(-s)$) vast ligt en bepaald wordt door de gemeten totale stoffenvracht en de verdeling van Q_g (met de gekozen C_g) en Q_i (zie formule 2 in hoofdstuk 3.4).

Hierna is de invloed van de variatie van de grootte van de oppervlakteafvoer op de concentratie van de stoffen in de oppervlakteafvoerkomponent bekeken.

6.3.2. Uitwerking en resultaten

Allereerst is met behulp van de afvoer- en concentratiegegevens de afvoerverlooptlijn op half logaritmisch papier uitgezet, een gedeelte hiervan is op bijlage 5.1 weergegeven. Hierna is de basisafvoer en de grondwaterafvoerkomponent (Q_g) aangegeven (respektievelijk $Q'_{84} = 2.900 \text{ m}^3/\text{dag}$, $Q'_{85} = 2.800 \text{ m}^3/\text{dag}$ en $Q_g = 2.000 \text{ m}^3/\text{dag}$).

Hierna is volgens de in 3.3. beschreven methode de oppervlakteafvoerhoeveelheid bepaald. Door nu de afvoerverlooptlijn te verdelen in perioden met en zonder oppervlakteafvoer ontstaan 33 perioden. Om de maandvrachten te kunnen controleren, is ook aan het begin van elke maand met een nieuwe periode begonnen. Per periode is zo de C_i van het $\text{NO}_3\text{-N}$, de C_s van het Tot-P en de C_s van het Kj-N berekend. Voor geheel 1984 en voor de periode 1-1-'85 tot 1-9-'85 zijn de gemiddelde C_i en C_s -waarden bepaald. De gebruikte formules staan in bijlage 3. In tabel 5.2 staan de perioden met de berekende concentraties.

In tabel 10 staan de resultaten van de Hierdensebeek.

Bepaling Cs (mg Tot-P/l) Hierdense beek 1/1'84 - 31/12'84				
Ci(-s) = 0,4 mg Tot-P/l (neerslag + 14%)				
Ci(+s) (mgTot-P/l)	0,3	0,4	0,6	0,9
stel Qs was : 8 mm	12,0	11,0	9,0	6,1
Qs optredend : 19,1 mm	5,0	4,6	3,8	2,6
stel Qs was : 20 mm	4,8	4,4	3,6	2,4
stel Qs was : 25 mm	3,8	3,5	2,9	2,0

Bepaling Cs (mg Kj-N/l) Hierdense beek 1/1'84 - 31-12-'84			
Ci(-s) = 3,7 mg Kj-N/l			
Ci(+s) = (mg Kj-N/l)	2	3	4
stel Qs was : 8 mm	48,4	38,6	28,8
Qs optredend : 19,1 mm	20,3	16,2	12,0
stel Qs was : 20 mm	19,3	15,4	11,5
stel Qs was : 25 mm	15,5	12,3	9,2

Bepaling Cs (mg Tot-P/l) Hierdense beek 1/1'85 - 1/9'85				
Ci(-s) = 0,4 mg Tot-P/l (neerslag -3%)				
Ci(+s) (mg Tot-P/l)	0,3	0,4	0,6	0,9
Qs optredend : 1,4 mm	8,3	7,6	6,3	4,4
stel Qs was : 3 mm	3,8	3,5	2,9	2,0
stel Qs was : 8 mm	1,4	1,3	1,1	0,7

Bepaling Cs (mg Kj-N/l) Hierdense beek			
Ci(-s) = 3,9 mg Kj-N/l			
Ci(+s) (mg N/l)	2	3	4
Qs optredend : 1,4 mm	51,5	44,9	38,3
stel Qs was : 3 mm	23,4	20,4	17,4
stel Qs was : 8 mm	8,8	7,6	6,5

Tabel 10

Bepaling gemiddelde Cs-waarden bij verschillende Ci(+s) en Qs waarden, Hierdense beek

(Cs: concentratie oppervlakteafvoer; Ci(+s): concentratie interflow in perioden met oppervlakteafvoer; Qs: oppervlakteafvoerhoeveelheid).

Evenals bij de berekening in het Lunterse beekgebied kan ook hier weer de vraag gesteld worden of de berekende waarden voor de gehalten in de afvoercomponenten C_i en C_s reëel zijn in tabel 10. Zie ook hoofdstuk 6.2.2. In 1984 lijken de berekende gebiedsgemiddelden voor het Kjeldahl-N en het fosfor akseptabel voor een oppervlakteafvoer van 19,1 tot 25 mm. De C_s -waarden voor het Kjeldahl-N variëren dan van 9 tot 20 g/m³N en het fosfor van 2 tot 5 g/m³P. In 1985 valt de hoge waarde van het Kjeldahl-N op. De optredende Q_s van 1,4 mm lijkt wat te weinig. Wordt een wat hogere waarde van 3 mm aangehouden dan zijn de C_s -waarden voor het Kjeldahl -N (6,5 tot 23,4 g/m³) akseptabel. De C_s -waarden van het fosfor variëren dan van 0,7 tot 3,8 g/m³P.

De mineralenhoeveelheid, afkomstig van de uit- en afspoeling van landbouwgronden, in de beekafvoer via de drie verschillende afvoerwegen zijn ook in kg per ha kultuurgrond berekend. In de tabellen 11 en 12 zijn de resultaten van de Hierdensebeek weergegeven.

Evenals bij de berekening in het Lunterse beekgebied is ook hier de bijdrage van de interflow voor zowel P, Kj-N en NO₃-N overheersend.

7. VERGELIJKING VAN DE RESULTATEN MET DIE VAN ANDERE BERKENINGS-
METHODEN

Om meer inzicht te verkrijgen in de betrouwbaarheid van de gevonden waarden bij deze berekeningsmethode is in dit hoofdstuk nagegaan wat er in Nederland tot nu toe op het gebied van oppervlakteafvoer en de interflow aan onderzoek is verricht.

In Nederland is tot nu toe slechts op beperkte schaal onderzoek uitgevoerd naar de oppervlakte-afvoerhoeveelheden en de nutriëntenconcentraties hierin. Het meest bruikbare materiaal wordt geleverd door een uitgebreid experimenteel onderzoek dat door OOSTEROM en STEENVOORDEN (1980) is uitgevoerd te Achterveld.

Later, in 1984, is door het I.C.W. een komputermodel ontwikkeld (BUITENDIJK en c.s.) FLOWEX genaamd, waarmee voor verschillende bodemtypes en ontwateringssituaties over de jaren 1950 tot en met 1985 elke halve maand de oppervlakte-afvoerhoeveelheid is berekend. De uitkomsten hiervan zijn vergeleken met de berekende hoeveelheden in deze studie (zie 3.3. en bijlage 6).

Bij het onderzoek in Achterveld werden op een matig doorlatende bodem oppervlakte-afvoermetingen verricht en onder andere N- en P-analyses in de oppervlakteafvoer ten gevolge van grote neerslagheden. De resultaten van dit onderzoek hebben slechts een indicatieve waarde, aangezien diverse factoren, die van plaats tot plaats zullen verschillen, van invloed zijn op de oppervlakteafvoer. De belangrijkste konklusies van dat onderzoek zijn:

- oppervlakteafvoerhoeveelheden zijn sterk afhankelijk van onder meer de grondwaterstand, de infiltratiecapaciteit van de bodem, de maaiveldbergings en de neerslagintensiteit. Er zijn oppervlakteafvoerhoeveelheden gemeten van 65% van de neerslag;
- de fosforkoncentratie in de oppervlakteafvoer neemt toe met de hoogte van de mestgift;
- de fosforkoncentratie neemt af met toenemende tijd tussen bemesting en het optreden van oppervlakteafvoer mede onder

invloed van de hoeveelheid neerslag.

Direkt na de weideperiode, zonder voorafgaande bemesting, zijn fosforkoncentraties gemeten in de over het oppervlak afstromende neerslag van gemiddeld 0,8 mg Tot-P/l. Drie dagen na een bemesting van 35 ton runderdrijfmest/ha zijn gemiddelde fosforkoncentraties gemeten van 17 mg Tot-P/l. Uit twee incidentele metingen in neerslag, die afstroomde over een bevroren en onlangs bemeste bodem blijkt dat de fosforkoncentraties in de oppervlakteafvoer onder dergelijke omstandigheden erg hoog kunnen zijn (tot 26 mg Tot-P/l).

Uit de onderzoeksresultaten valt te berekenen dat de afspoeling van fosfor, ten gevolge van een eenmalige oppervlakte-afvoer (17,6 mm), direkt na een weideperiode, 0.14 kg Tot-P/ha (= 0,8 mg Tot-P/l) kan bedragen. Drie dagen na een bemesting met 35 ton runderdrijfmest per ha (15,4 ha Tot-P/ha), varieert deze van 0,3 kg Tot-P/ha (= 2,1 mg Tot-P/l bij 14 mm) tot 1,7 kg Tot-P/ha (= 8,5 mg Tot-P/l bij 20 mm). Deze waarden komen overeen met de waarden gevonden in dit onderzoek, namelijk:

Een Ci-waarde van ongeveer 1,8 mg Tot-P/l en Cs-waarden van 4 tot 10 mg Tot-P/l voor het Luntersebeekgebied en Ci-waarden van 0,3 tot 0,9 mg Tot-P/l en Cs-waarden van 0,7 tot 5 mg Tot-P/l voor het Hierdense beekgebied.

Op het gebied van de uitspoeling van nutriënten is tot nu toe in vergelijking met de afspoeling meer onderzoek verricht.

Voor geheel Nederland geldt dat van de op de bodem neergevallen gemiddelde hoeveelheid regenwater van cirka 720 mm/jaar cirka 470 mm verdampt. Aangenomen wordt dat van het gemiddelde resterende neerslagoverschot van 250 mm cirka 225 mm de bodem indringt en uitspoelt naar het grondwater (Lit. 18). De stofenvracht, afkomstig van de bemesting, die met dit percolatiewater het grondwater bereikt, verschilt per verbinding en is mede afhankelijk van de aard van het landgebruik, de bemestingshistorie

en de structuur van de bodem (bindingsvermogen) en de afstand tot het grondwater (bindingskapaciteit).

Voor het fosfor kan het volgende beeld geschetst worden. Omdat het vermogen van de bodem om anorganisch fosfor te binden groot is, was men tot voor kort geneigd te denken dat het risico van fosforuitspoeling (op niet-natuurlijk nivo) te verwaarlozen klein is. Doch dit fosforbindend vermogen is eindig en er is berekend dat voor agrarische gronden met een geringe vastleggingskapaciteit binnen 10 jaar al een verzadiging kan optreden en doorslag van het fosfor naar het grondwater kan plaatsvinden (Lit. 18). Fosforbinding is het gevolg van de adsorptie en/of precipitatie ("fosfaatsorptie") van het anorganisch fosfor aan bodemdeeltjes, zoals kleimineralen aluminium- en ijzeroxiden, carbonaat en calcium. Geringere vastleggingskapaciteit van de grond kan het gevolg zijn van het geringe gehalte aan vastleggende bestanddelen of het feit dat reeds een gedeelte van de vastleggingskapaciteit is opgebruikt. Binnen de groep zandgronden kan de vastleggingskapaciteit een faktor 5 schelen. Uitgaande van een gemiddelde natuurlijk fosforgehalte van het uit de bodem uitgespoelde water van 0,05 - 0,15 mg/l kan berekend worden dat de natuurlijke belasting van het grondwater in Nederland 0,12 - 0,35 kg Tot-P/ha is (Lit. 18).

De resultaten van deze studie kunnen wel direct vergeleken worden met een eutrofiëringsonderzoek in het stroomgebied van de Lunterse beek (Lit. 8). In dat onderzoek is door middel van een balansberekening de bijdrage van de uit- en afspoeling van landbouwgrond aan de afvoer van de Lunterse beek bepaald. De uitkomsten staan hieronder vermeld.

Tabel 13

Bijdrage uit- en afspoeling van landbouwgrond aan de afvoer van de Lunterse beek.

(perc. bem. = percentage van de totale bemesting in 1981).

periode	kg Tot-P/ha	perc bem.	kg Tot-N/ha	perc bem.	afkomstig van
1-4-1982/1-4-1983	4,0	2,5%	44,6	5,9%	Lit.8
1-10-1982/1-10-1983	8,6	5,4%	67,2	8,9%	Lit.8
1-10-1982/1-6-1983	8,9	5,6%	66,8	8,9%	uitk.deze stu- die

8. DISKUSSIE VAN DE TOEGEPASTE ONDERZOEKSMETHODE

Deze onderzoeksmethode is opgezet om meer inzicht te verkrijgen in de transportweg van emissies van nutriënten vanuit de landbouw. Wanneer voldoende gegevens over een stroomgebied bekend zijn, blijkt het mogelijk te zijn de totale emissiestroom naar het oppervlaktewater te splitsen in een diep grondwater-, een interflow- en een oppervlakteafvoercomponent met bijbehorende vrachten. Hierbij dient wel te worden aangenomen, dat er geen illegale lozingen, van enige omvang, vanuit de landbouw plaatsvinden.

De diep grondwaterafvoercomponent geeft verreweg de kleinste bijdrage aan de beekafvoer en veranderingen in de aangenomen nutriëntenconcentraties of afvoerhoeveelheden zijn van weinig invloed op de resultaten.

De oppervlakteafvoercomponent is grafisch bepaald en gecontroleerd met behulp van het komputermodel FLOWEX in combinatie van STIBOKA-kaarten (zie bijlage 6). Omdat er zoveel factoren van invloed zijn op de oppervlakteafvoerhoeveelheid, blijkt het moeilijk te zijn deze hoeveelheid exakt te berekenen. Variatie van deze hoeveelheid doet ook de concentraties van de stoffen hierin veranderen (zie tabellen 8 en 10).

De concentratie van de stoffen in de interflow-afvoercomponent in perioden zonder oppervlakteafvoer volgt direkt uit de gemeten afvoerconcentratiegegevens. Het blijkt dat deze component verreweg de grootste bijdrage levert aan de beekafvoer. Een aanname zou nu kunnen zijn om de concentratie van de stoffen in de interflow in perioden met oppervlakteafvoer gelijk te nemen aan die zonder oppervlakteafvoer. Hoewel deze concentraties waarschijnlijk niet veel van elkaar zullen afwijken, is toch voor een reeks concentratiewaarden in perioden met oppervlakteafvoer gekozen. Dit is onder meer gedaan om de invloed hiervan op de variatie in de

koncentratie van de stoffen in de oppervlakteafvoer te laten zien (zie hoofdstuk 6.2.1. en 6.3.1. en tabellen 8 en 10).

Vergelijking van de uit- en afspoelingsconcentraties in de oppervlaktewaterafvoer berekend in dit onderzoek met waarden gevonden door OOSTEROM en STEENVOORDEN (1980, nota 1237-ICW) levert een uitsluiting van de aanvankelijk in de tabellen 8 en 10 gekozen concentratiewaarden in de interflowafvoercomponent en een latere indicatie van de opgetreden oppervlakteafvoerhoeveelheid.

Een voordeel van de splitsing van de beekafvoer in de drie afvoercomponenten ten opzichte van een ongesplitste beekafvoer is, dat de invloed van eventuele maatregelen ter beperking van de bijdrage van de landbouw aan de stoffenvracht in de beekafvoer, beter getraceerd kan worden.

Het blijkt, dat de stoffenvracht vanuit de landbouw in de beekafvoer grotendeels via de interflow tot stand komt.

Deze grote invloed van de interflow voor het fosfor en stikstof geeft aan dat voorkómen van verontreiniging via oppervlakteafvoer in deze situatie niet voldoende zal zijn bij de bestrijding van oppervlaktewaterverontreiniging door bemesting.

Enige aanbevelingen voor nader onderzoek

- onder welke omstandigheden treedt uit- en afspoeling nog wel en onder welke niet meer op;
- komputermodel ontwikkelen ter bepaling van de totale oppervlakteafvoer die per maand is opgetreden in stroomgebieden met een hoge bemestingsgraad per hectare kultuurgrond;
- onderzoek naar de grootte van verspreide fosfor en stikstofbronnen niet afkomstig van bemesting in stroomgebieden;
- denitrifikatie in de bodem.

9. LITERATUUR

1. Probst, J.L., Kattan, Z., Etchanchu, D., 1986.
Exportation des nitrates sur 4 bassin versants Francais agricoles.
Proceedings of congres "nitrates in water", Paris, 22-24 oktober 1985.
2. Probst, J.L., 1985
Nitrogen and phosphorus exportation in the Garonne basin (France).
J. of Hydrol., 76: p. 281-305.
3. Hall, F.R., 1970
Dissolved solids-discharge relationships, I. Mixing models
Water Resour. Res., 6 (3): p. 845-850.
4. Manczak, H., Florczyk, H., 1971
Interpretation of results from studies of pollution of surface flowing water
Water Res., 5 (8): p. 575-584.
5. Belamie, R., 1978
Transfert des fertilisants vers les eaux de surface dans un petit bassin versant agricole.
Verh. Int. Ver. Limnol., 20: p. 1503-1508.
6. Steenvoorden, J.H.A.M., Oosterom, A.P., 1980
Chemische samenstelling van oppervlakkig afstromend water
Nota 1237, I.C.W., Wageningen.
7. Steenvoorden, J.H.A.M., Buitendijk, J., 1980
Oppervlakte-afvoer
Rapporten en nota's nr. 5: p. 87-92. CHO-TNO, Den Haag.
8. Onderzoek naar de wenselijkheid van opname van de gehele provincie Gelderland in waterschapsverband, 1985
Provincie Gelderland, Dienst Waterbeheer, Arnhem.
9. Lekkerkerker, C.L., Otten, P.C.A., 1982
Hydrologisch onderzoek in het Hierdense beekgebied
Scriptie Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit, Amsterdam.

10. Buitendijk, J., 1984
FLOWEX: een numeriek model voor simulatie van verticale stroming van water door onverzadigde grond.
Nota 1494, I.C.W., Wageningen.
11. Vášák, L., 1978
De chemische samenstelling van het grondwater in het Barneveldse beekgebied.
Rapport Instituut voor Aardwetenschappen, Amsterdam.
12. Probst, J.L., 1983
Hydrologie du bassin de la Garrone - Modèles de mélanges - Bilan de l'érosion - Exportation des phosphates et des nitrates.
Thèse de spécialité, Université Toulouse III, Toulouse.
13. Mensink, J.A., 1983
Milieuhygiënische aspecten van de intensieve veehouderij
Deelrapport 1 - Literatuurstudie
Dienst Milieuhygiëne provincie Gelderland.
14. Mensink, J.A., 1983
Milieuhygiënische aspecten van de intensieve veehouderij
Deelrapport 3 - Onderzoek in een proefgebied nabij Lunteren
Dienst Milieuhygiëne provincie Gelderland.
15. Rees Vellinga, E. van, 1975
Enkele resultaten van een hydrogeologisch onderzoek in het stroomgebied van de Luntersche beek
Nota 853. I.C.W., Wageningen.
16. Oosterloo, W., 1985
Een eutrofiëringsonderzoek in het stroomgebied van de Luntersebeek (Gelderse Vallei)
Koncept rapportage, Zuiveringsschap Veluwe, Apeldoorn.
17. Appelo, C.A.J., Krajenbrink, G.J.W., Ree, C.C.D.F. van, Vášák, L., 1982
Beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit in het infiltratiegebied van de noordwestelijke Veluwe
Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit, Amsterdam.

18. Werkgroep Fosfaten uit de landbouw, 1985
Ministeries van V.R.O.M., L. & V. en V. & W.
De fosfaatbelasting van het oppervlaktewater vanuit de landbouw.
19. STIBOKA, 1962/'65/'82
Bodemkaarten van Nederland. Bladen, 32-O, 33-W, 26-O en 27-W
Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
20. Janssen, M.P.J.M., Lint, E.M. van, Rookhuizen, E.H., 1984
Mestbalansberekening voor het Lunterse beekgebied
Projekt "De ecologische gevolgen van ontwatering en bemesting"
Rijksuniversiteit Leiden, Vakgroep Milieubiologie.
21. TAUW Infra Consult, 1986
De effectiviteit van restricties aan het uitrijden van mest voor de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater.
Rapportnr. 51491.36/RO-01.

TABELLEN

Rivières	Stations	Bassins km ²	Qm m ³ /s	Qs l/s/km ²	Régions
Mosig	Soultz	163	1,27	7,79	Alsace-Vosges,
Girou	les Bains	522	2,80	5,37	s.affl. Ill.
	Cepet				Terrefort Tou-
Moselle	Millery	6850	113	16,49	lousain, s.affl.
Garonne	Has	52000	668	12,84	Garonne.
	d'Agenais				Lorraine-Vosges
					affl. du Rhin.
					Sud-Ouest France,
					Bassin Aquitain.

Tabel 1

Karakteristieken van de vier onderzochte stroomgebieden

Qm : gemiddeld debiet (1971 - 1983)

Qs : specifiek debiet (1971 - 1983)

Stoffen	NO ₃ -N	Kj-N	Tot-P
Koncentratie			
Cg	aanname	aanname	aanname
Ci	berekend	aangenomen reeks	aangenomen reeks
Cs	0	berekend	berekend

Tabel 2

Schema van het rekenmodel met aannames en berekening van de stoffenvracht in de verschillende afvoerstromen.

Put	Vermoedelijke vervullingsbron	Diepte m. - m.v.	pH	Na	K	Mg	Ca	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃	Al
26 H - 27 Zinkput		12	5.98	1.15	0.11	0.50	0.57	1.12	0.17	0.91	0.55	0.007 mmol/L
27 C - 1 Stroolzout		12	4.73	2.89	0.045	0.05	0.08	2.46	0.02	0.55	0.18	0.136 mmol/L
27 C - 8 Stroolzout		18	6.38	1.08	0.068	0.38	0.32	1.54	0.07	0.51	0.006	0.002 mmol/L
26 H - 37 Infiltratie van de Herdense Beek		9	6.17	0.93	0.32	0.24	0.85	1.28	0.52	0.58	0.50	? mmol/L
WMG-put bij Speulds bemesting		4	6.07	2.67	0.55	0.29	0.97	3.38	0.08	0.76	1.30	0.066 mmol/L
Sommerste Veluwe G.W. 4.05-8.5 0.10 0.033 0.037 0.45 0.30 1.04 0.15 0.063 mmol/L met Cl ⁻ < 0.8 mmol/L (Appelo-1982)												

Tabel 3

Enkele voorbeelden van vervuild water op de Veluwe.

	produktie		beekwater	
	kg N/ha/jaar	kg P/ha/jaar	N-Tot mg/l	P-Tot mg/l
LB	682 (1981 CBS)	209 (1981 CBS)	12.3 (10/82-10/83 ZV)	1.6 (10/82-10/83 ZV)
HB (1984)	-	87 (Tauw)	12.4 (ZV)	0.62 (ZV)
HB (1971)	445 (Kolen- brander)	91 (Kolen- brander)	7.0 (Rijtema, 1976)	0.74 (Rijtema, 1976)

Tabel 4

Productie van dierlijke mest per hectare kultuurgrond.

Koncentratie stikstof en fosfor in het beekwater.

grondwatertrap:	I	II	III	IV	V	VI	VII
GHG in cm-m.v.	-	-	< 40	> 40	< 40	40-80	> 80
GLG in cm-m.v.	< 50	50-80	80-120	80-120	> 120	> 120	> 120

Tabel 5

Grondwatertrappenindeling.

	kg/ha akkerbouw			kg/ha grasland			kg/ha kultuurgrond			
	Tot-N	P205	K20	Tot-N	P205	K20	Tot-N	P205	Tot-P	K20
zuiveringsslib	26	24	3	7	6	1	6	5	2	1
kunstmest	815	65	20	218	17	5	171	14	6	4
totaal alle meststoffen	3.580	1.727	2.383	959	462	638	752	363	160	500

Tabel 6A

De voor bemesting beschikbare mineralen per oppervlakte in het Lunterse beekgebied in 1981 (lit. 20).
De totale beschikbare hoeveelheid mineralen is respectievelijk gedeeld door de oppervlakte van het akkerbouwland (991 ha), grasland (3.700 ha) en het kultuurland (1.021 ha).

	hoeveelheid mineralen	
	Tot-P	Tot-N
zuiveringsslib	2	5
kunstmest	5	181
dierlijke mest	88	330
totaal	95	516

Tabel 6B

Beschikbare hoeveelheid mineralen voor bemesting
in kg/ha kultuurgrond, Hierdense beekgebied 1984.

Categorie	Wijze van lozen	% van bewoners	Belasting. inw ⁻¹ . jaar ⁻¹	
			N	P
I	alles direkt op open water	5	4,7	1,5
II	toiletwater infiltreert in bodem			
	keukenwater direkt op open water	48	0,5	0,9
III	toiletwater via zinkput op open water	24	3,2	1,3
	keukenwater direkt op open water			
IV	toiletwater naar gierkelder	5	0,2	0,4
	keukenwater via zinkput op open water			
V	geen lozing op open water	18	-	-
	Gemiddelde bijdrage	100%	1,3	0,8

Tabel 7 Fosfaat- en stikstofbelasting van het oppervlaktewater door de verspreide bewoning per categorie lozers, in kg N en kg P per inwoner per jaar
(ZUIVERINGSSCHAP VELUWE, 1979)

Bepaling Cs (mg Tot-P/l) Lunterse beek 1/10'82 - 1/6'82					
Ci(-s) = 1,8 mg Tot-P/l (neerslag +48%)					
Ci(+s) (mg Tot-P/l)	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
stel Qs was : 8 mm	17,1	15,3	13,5	11,7	10,0
Qs optredend : 12,9 mm	10,5	9,4	8,3	7,2	6,1
stel Qs was : 20 mm	6,8	6,1	5,4	4,7	4,0

Bepaling Cs (mg Kj-N/l) Lunterse beek			
Ci (-s) = 6,3 mg Kj-N/l 1/10'82 - 1/6'83			
Ci(+s) (mg Kj-N/l)	2	3	4
stel Qs was : 8 mm	33,4	27,5	21,6
Qs optredend : 12,9 mm	20,6	16,9	13,3
stel Qs was : 20 mm	13,3	10,9	8,6

Tabel 8

Bepaling gemiddelde Cs-waarden bij verschillende Ci(+s) en Qs waarden, Lunterse beek
(Cs: concentratie oppervlakteafvoer; Ci(+s) : concentratie interflow in perioden met oppervlakteafvoer; Qs: oppervlakteafvoerhoeveelheid)

Bemesting kg/ha/jaar		Afvoerweg	Afgevoerde hoeveelheid								
			Tot-P			Kj-N		NO3-N		Tot-N	
Tot-P	Tot-N		kg	kg/ha	perc. bem.	kg	kg/ha	kg	kg/ha	kg/ha	perc. bem.
-	-	1 grondwater	1.242	0.3	0.2	9.312	2.0	3.104	0.7	2.6	0.3
-	-	interfl. zonder Qs	28.676	6.1	-	99.109	21.0	-	-	-	-
-	-	interfl. met Qs	2.089- 6.267	0.4-1.3	-	6.964- 13.928	1.5- 3.0	-	-	-	-
-	-	2 interfl. tot.	30.765-34.943	6.5-7.4	4.1-4.6	106.073-113.037	22.5-24.0	176.676	37.4	59.9-61.4	8.1
-	-	3 oppervl. afvoer	10.024- 5.846	2.1-1.2	1.3-0.8	20.140- 13.176	4.3- 2.8	-	-	4.3- 2.8	0.8
160	752	1 + 2 + 3	42.031	8.9	5.6	135.525	28.7	179.780	38.1	66.8	8.9

Tabel 9

Hoeveelheid mineralen in de Luntersebeek afkomstig van uit- en afspoeling van landbouwgronden bij een oppervlakte-afvoer van 12,9 mm in de periode 1/10 '82/1/6'83. (perc. bem. = "percentage van de bemesting", dit is het percentage van de aangevende hoeveelheid mineralen, die naar het oppervlaktewater uit- en afspoelt).

Bepaling Cs (mg Tot-P/l) Hierdense beek 1/1'84 - 31/12'84				
Ci(-s) = 0,4 mg Tot-P/l (neerslag + 14%)				
Ci(+s) (mgTot-P/l)	0,3	0,4	0,6	0,9
stel Qs was : 8 mm	12,0	11,0	9,0	6,1
Qs optredend : 19,1 mm	5,0	4,6	3,8	2,6
stel Qs was : 20 mm	4,8	4,4	3,6	2,4
stel Qs was : 25 mm	3,8	3,5	2,9	2,0

Bepaling Cs (mg Kj-N/l) Hierdense beek 1/1'84 - 31-12-'84			
Ci(-s) = 3,7 mg Kj-N/l			
Ci(+s) = (mg Kj-N/l)	2	3	4
stel Qs was : 8 mm	48,4	38,6	28,8
Qs optredend : 19,1 mm	20,3	16,2	12,0
stel Qs was : 20 mm	19,3	15,4	11,5
stel Qs was : 25 mm	15,5	12,3	9,2

Bepaling Cs (mg Tot-P/l) Hierdense beek 1/1'85 - 1/9'85				
Ci(-s) = 0,4 mg Tot-P/l (neerslag -3%)				
Ci(+s) (mg Tot-P/l)	0,3	0,4	0,6	0,9
Qs optredend : 1,4 mm	8,3	7,6	6,3	4,4
stel Qs was : 3 mm	3,8	3,5	2,9	2,0
stel Qs was : 8 mm	1,4	1,3	1,1	0,7

Bepaling Cs (mg Kj-N/l) Hierdense beek			
Ci(-s) = 3,9 mg Kj-N/l			
Ci(+s) (mg N/l)	2	3	4
Qs optredend : 1,4 mm	51,5	44,9	38,3
stel Qs was : 3 mm	23,4	20,4	17,4
stel Qs was : 8 mm	8,8	7,6	6,5

Tabel 10

Bepaling gemiddelde Cs-waarden bij verschillende Ci(+s) en Qs waarden, Hierdense beek

(Cs: concentratie oppervlakteafvoer; Ci(+s): concentratie interflow in perioden met oppervlakteafvoer; Qs: oppervlakteafvoerhoeveelheid).

Bemesting kg/ha/jaar		Afvoerweg	Afgevoerde hoeveelheid								
			Tot-P			Kj-N		NO3-N		Tot-N	
Tot-P	Tot-N		kg	kg/ha	perc. bem.	kg	kg/ha	kg	kg/ha	kg/ha	perc. bem.
-	-	1 grondwater	146	0.1	-	1.098	1.1	366	0.4	1.5	-
-	-	interfl. zonder Qs	3.263	3.3	-	31.119	31.3	-	-	-	-
-	-	interfl. met Qs	579-1.737	0.6-1.8	-	3.860- 7.719	3.9- 7.8	-	-	-	-
-	-	2 interfl. tot.	3.842-5.000	3.9-5.1	-	34.979-38.838	35.2-39.1	97.384	97.9	133.1-137	-
-	-	3 oppervl. afvoer	2.358-1.200	2.4-1.2	-	9.518- 5.659	9.6- 5.7	-	-	9.6- 5.7	-
95	516	1 + 2 + 3	6.346	6.4	6,7	45.595	45.8	97.750	98.3	144.2	27.9

Tabel 11

Hoeveelheid mineralen in de Hierdensebeek afkomstig van uit- en afspoeling van landbouwgronden bij een oppervlakte-afvoer van 19,1 mm in 1984.(perc. bem. zie tabel 9).

Bemesting kg/ha		Afvoerweg	Afgevoerde hoeveelheid								
			Tot-P			Kj-N		NO3-N		Tot-N	
Tot-P	Tot-N		kg	kg/ha	perc. bem.	kg	kg/ha	kg	kg/ha	kg/ha	perc. bem.
-	-	1 grondwater	97	0.1	-	729	0.7	243	0.2	0.9	-
-	-	interfl. zonder Qs	2.418	2.0	-	22.934	23.0	-	-	-	-
-	-	interfl. met Qs	66- 199	0.1-0.2	-	422- 883	0.4- 0.9	-	-	-	-
-	-	2 interfl. tot.	2.484-2.617	2.5-2.6	-	23.356-23.817	23.5-23.9	56.909	57.2	80.7-81.1	-
-	-	3 oppervl. afvoer	278- 146	0.3-0.	-	1.724- 1.282	1.7- 1.3	-	-	1.7- 1.3	-
95	516	1 + 2 + 3	2.859	2.9	3.1	25.828	26.0	57.152	57.4	83.4	16.2

Tabel 12

Hoeveelheid mineralen in de Hierdensebeek afkomstig van uit- en afspoeling van landbouwgronden bij een oppervlakte-afvoer van 1,4 mm in de periode 1-1-1985 tot 1-9-1985.

periode	kg Tot-P/ha	perc bem.	kg Tot-N/ha	perc bem.	afkomstig van
1-4-1982/1-4-1983	4,0	2,5%	44,6	5,9%	Lit.8
1-10-1982/1-10-1983	8,6	5,4%	67,2	8,9%	Lit.8
1-10-1982/1-6-1983	8,9	5,6%	66,8	8,9%	uitk.deze stu- die

Tabel 13

Bijdrage uit- en afspoeling van landbouwgrond aan de afvoer van de Lunterse beek.

Percentage van de bemesting uit 1981.

Lunterse beek 1/10'82 - 1/6'83 (48% meer neerslag dan normaal)				
nutriënten afvoer	Tot-P	NO3-N	Kj-N	Tot-N
af/uitspoeling (kg/ha)	8.9	38.1	28.7	66.8
1. grondwater (diep)	3 %	2 %	7 %	4 %
2. interflow	73 - 83 %	98 %	78 - 83 %	90 - 92 %
3. opp. afvoer	24 - 14 %	0 %	15 - 10 %	6 - 4 %

Tabel 14. Uit- en afspoeling nutriënten per ha kultuurgrond in het Lunterse beekgebied

Hierdense beek 1/1'84 - 31/12'84 (14% meer neerslag dan normaal)				
nutriënten afvoer	Tot-P	NO3-N	Kj-N	Tot-N
af/uitspoeling (kg/ha)	6,4	98.3	45.8	144.2
1. grondwater (diep)	2 %	1 %	2 %	1 %
2. interflow	61 - 79 %	99 %	77 - 85%	92 - 95 %
3. opp. afvoer	37 - 19 %	0 %	21 - 13%	7 - 4%

Tabel 15. Uit- en afspoeling nutriënten per ha kultuurgrond in het Hierdense beekgebied

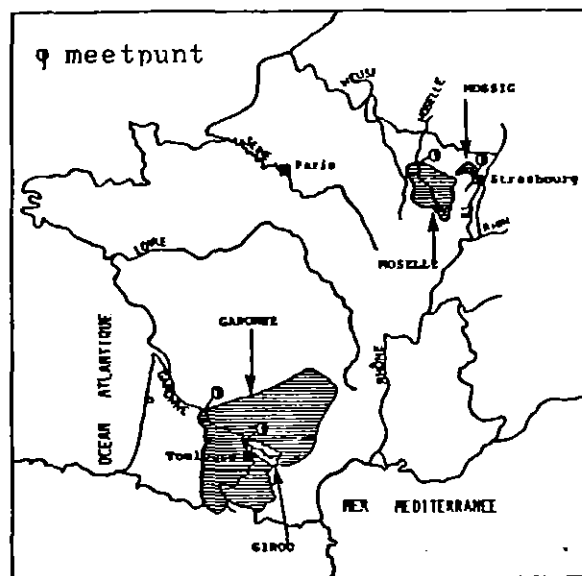
Hierdense beek 1/1'85 - 1/9'85 (normale hoeveelheid neerslag)				
nutriënten afvoer	Tot-P	NO3-N	Kj-N	Tot-N
af/uitspoeling (kg/ha)	2.9	57.4	26.0	83.4
1. grondwater (diep)	4 - 3 %	1 %	3 %	1 %
2. interflow	86 - 90 %	99 %	90 - 92 %	97 %
3. opp. water	10 - 7 %	0 %	7 - 5 %	2 %

Tabel 16. Uit- en afspoeling nutriënten per ha kultuurgrond in het Hierdense beekgebied

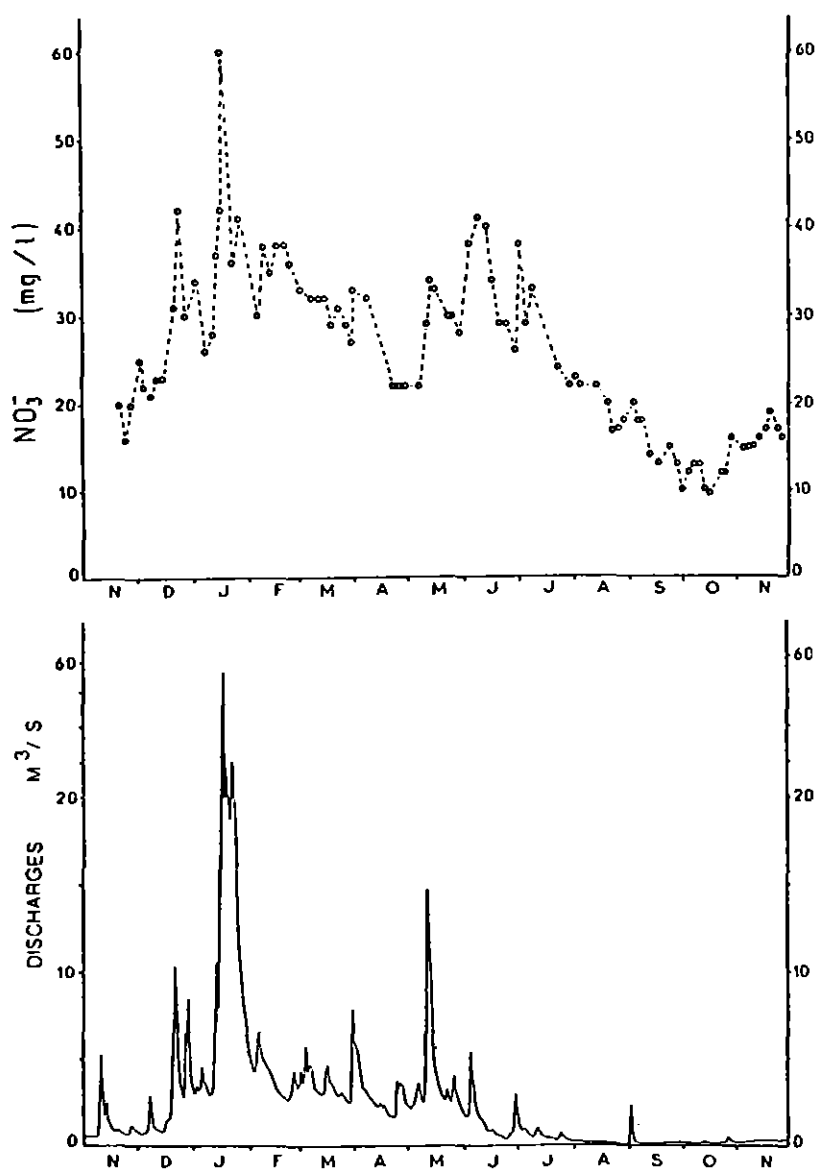
	Lunterse beekgebied 1981		Hierdense beekgebied 1984	
	Tot-P	Tot-N	Tot-P	Tot-N
zuiveringsslib	2	6	2	5
kunstmest	6	171	5	181
dierlijke mest	152	575	88	330
totaal	160	752	95	516

Tabel 17. Beschikbare hoeveelheid mineralen voor bemesting in kg/ha cultuurgrond

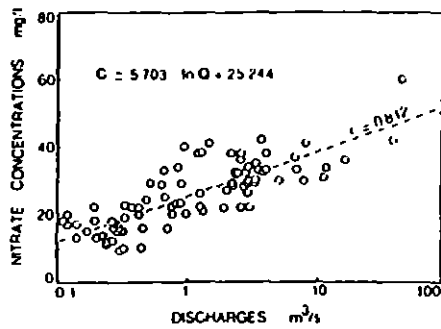
FIGUREN



Figuur 1 : Geografische ligging van de vier onderzochte stroomgebieden met meetpunten.

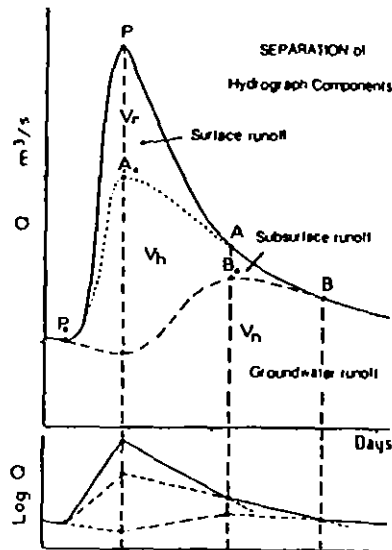


Figuur 2 : Vergelijking verloop NO_3^- -concentratie met het debiet van de Girou.



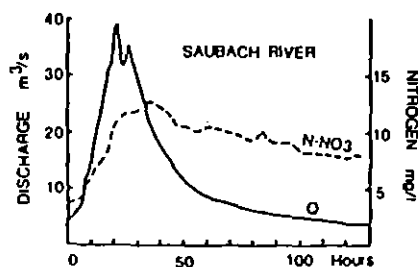
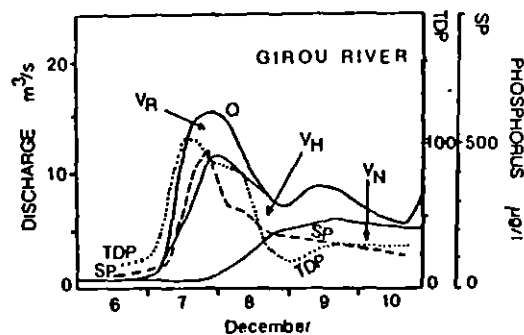
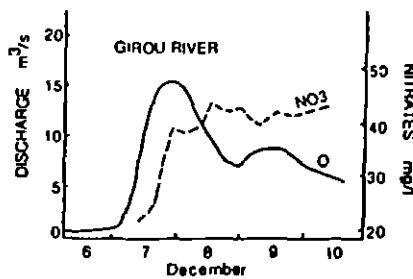
Figuur 3 :

Logaritmisch verband tussen de nitraat concentratie en het afvoergebied van de Girou.



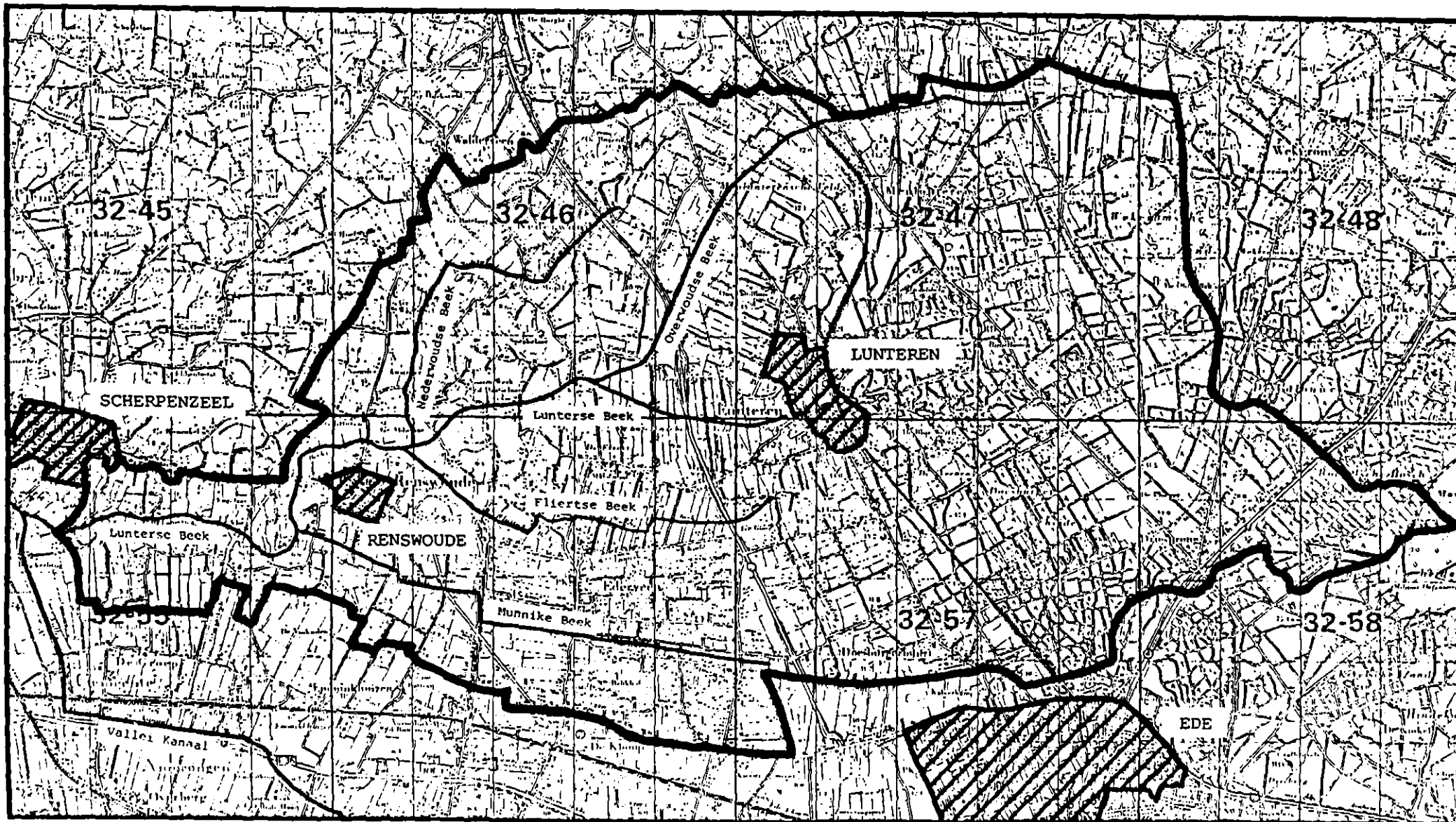
Figuur 4 :

Verdeling van de hoogwatergolf in de drie afvoer componenten.

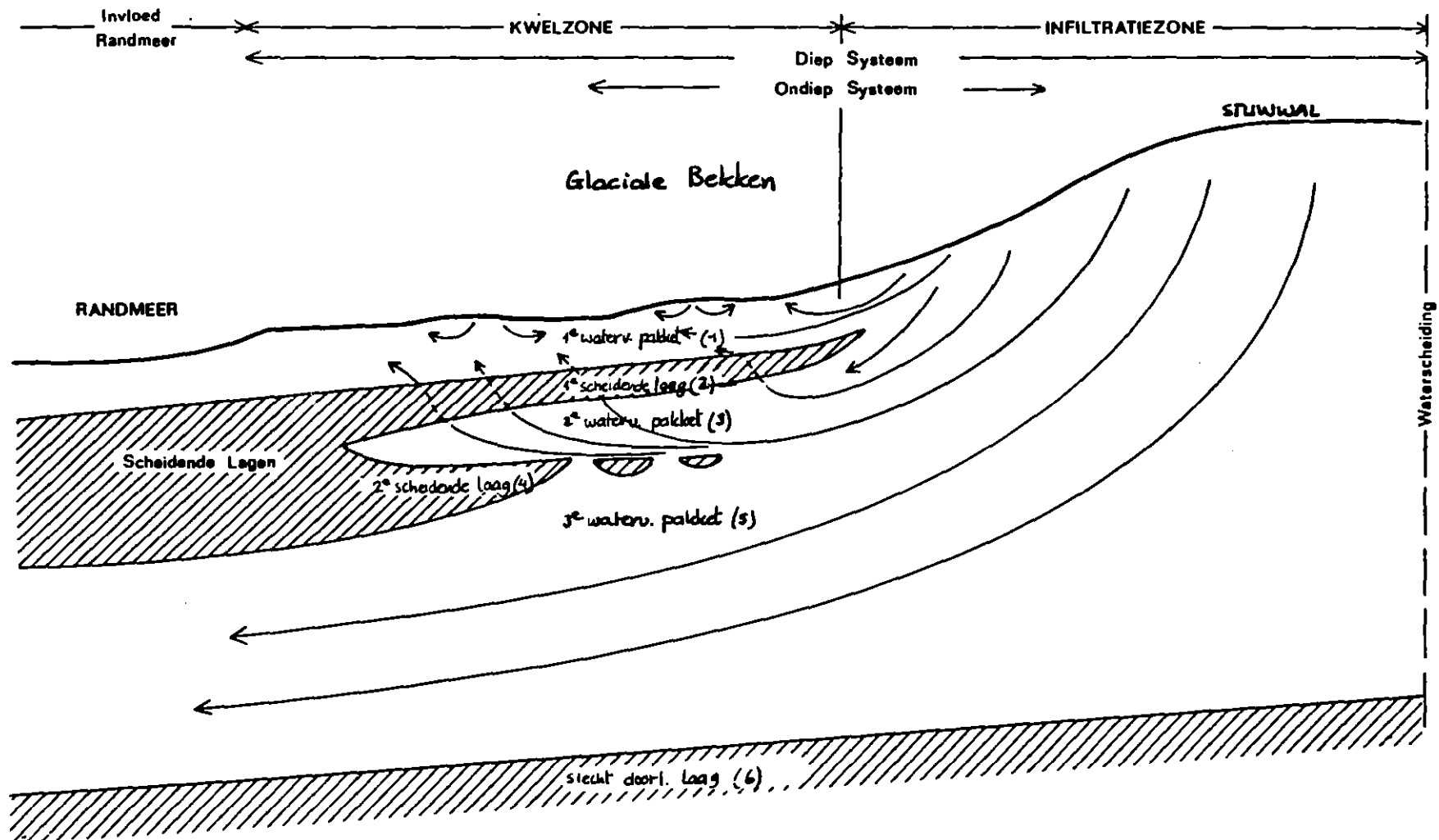


Vn : grondwater afvoer
Vh : interflow
Vr : oppervlakte afvoer
TDP: totaal ongelost fosfor
SP : gesuspendeerde fosfor

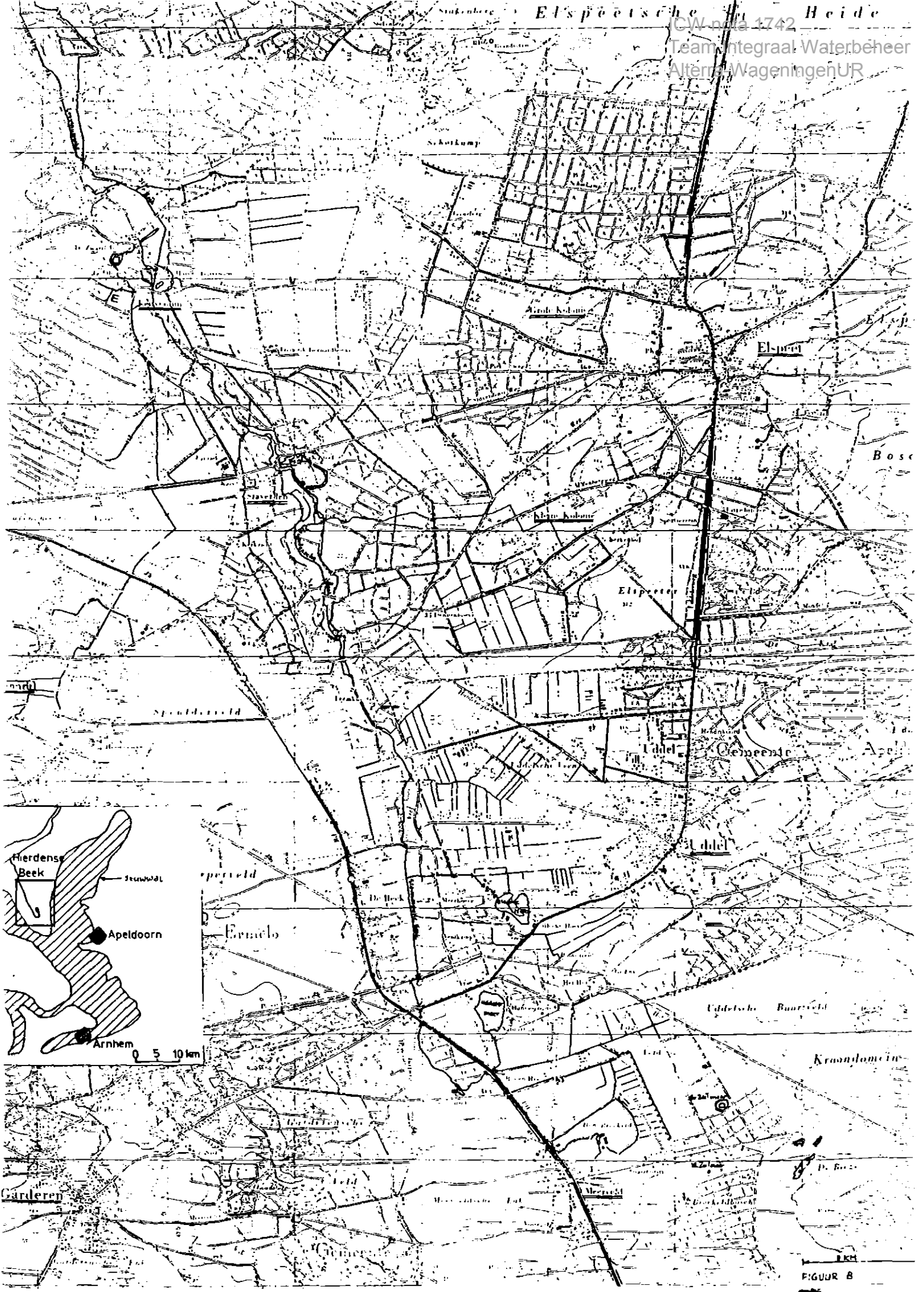
Figuur 5 : Verloop NO₃-N en Fosfaat concentraties gedurende afvoergolven.



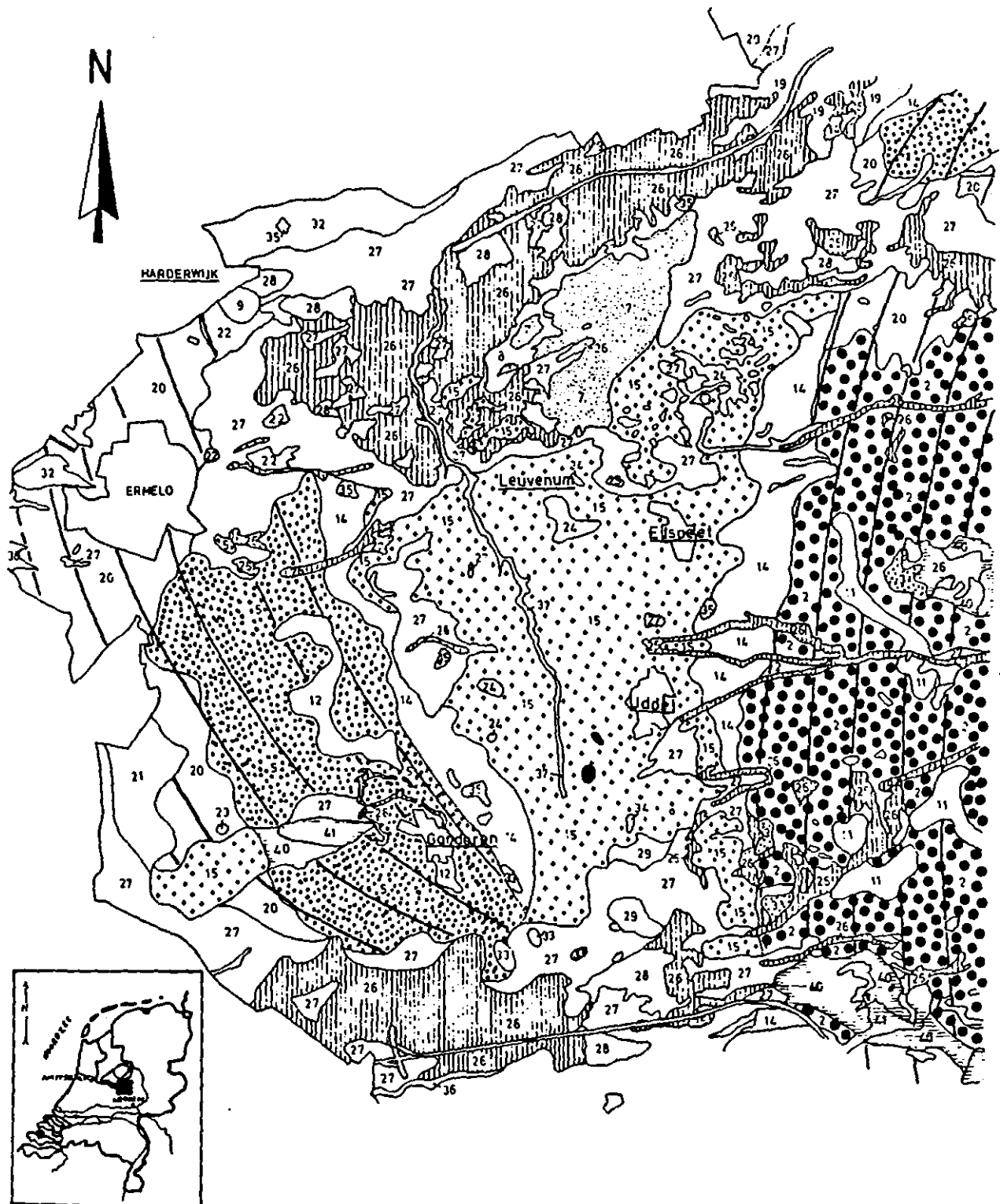
Figuur 6: De begrenzing van het Lunterse beekgebied op topografische ondergrond.



Figuur 7 : Stromingsbeeld Lunterse beekgebied.



FIGUUR 8



Uit: Rapport van het Veluwe-
onderzoek. (RIN, 1977)

500 0 1000 2000 5000 m.
SCHAAL 1:100 000

Figuur 9 : Geomorfologische kaart van het Hierdense beekgebied.

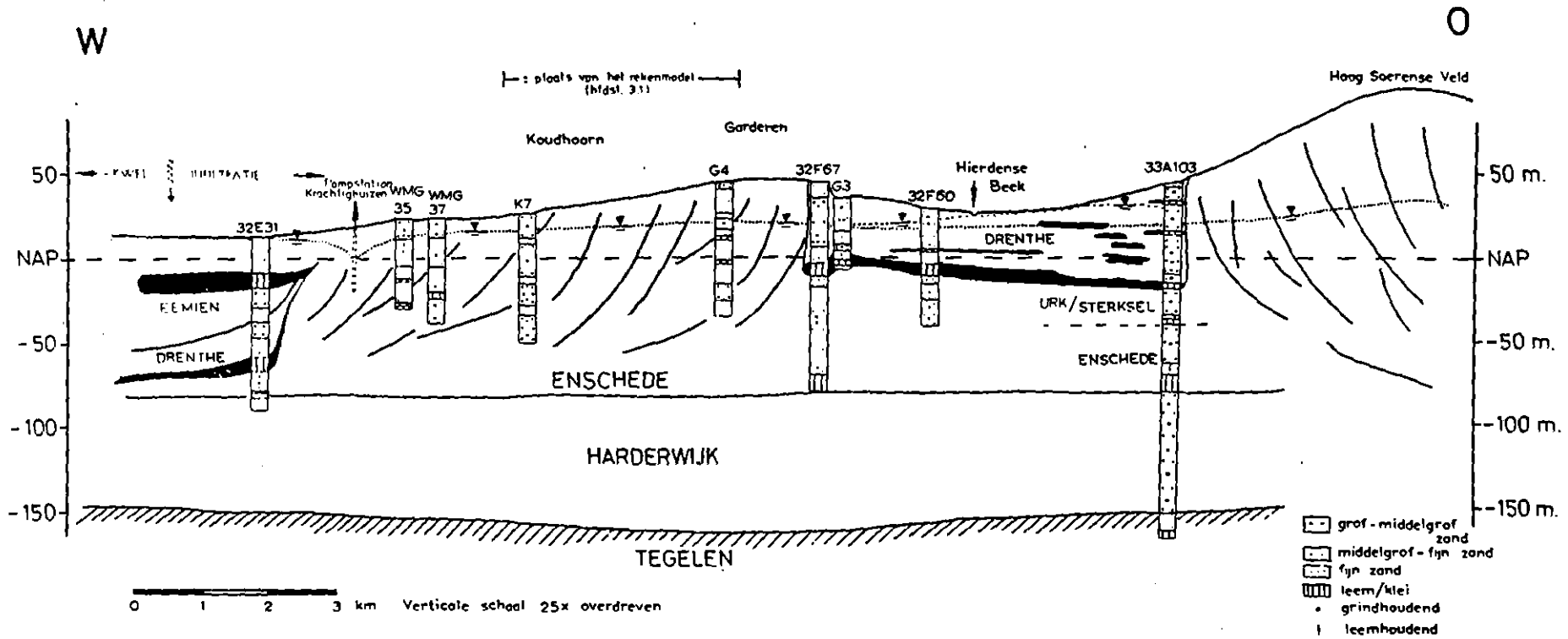
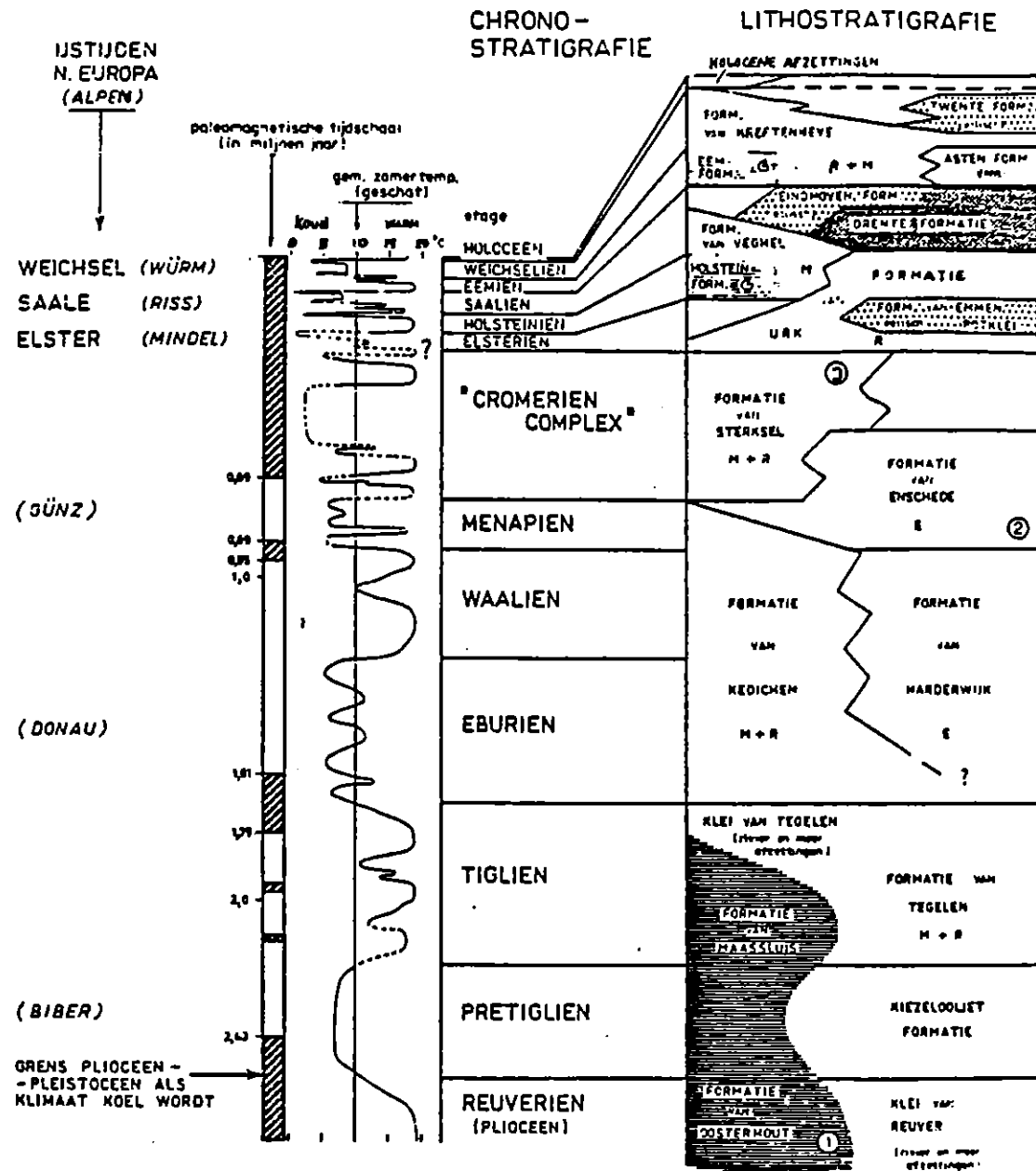


Fig. 10. Dwarsdoorsnede over de Stuwwal bij Koudhoorn, Garderen en het Kroondomein bij Uddel



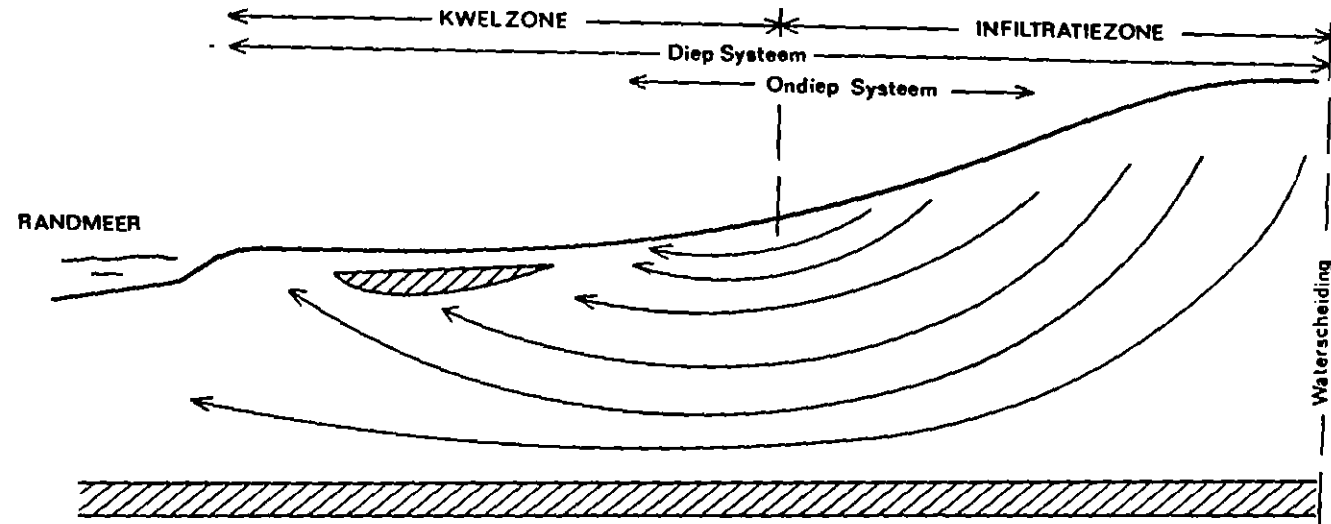
LEGENDA

-  mariene en littorale facies
-  fluviale facies
M = Maas, R = Rijn, E = Weser/Elbe
-  periglaciaire (a.o. eolische) facies
-  glaciaire facies

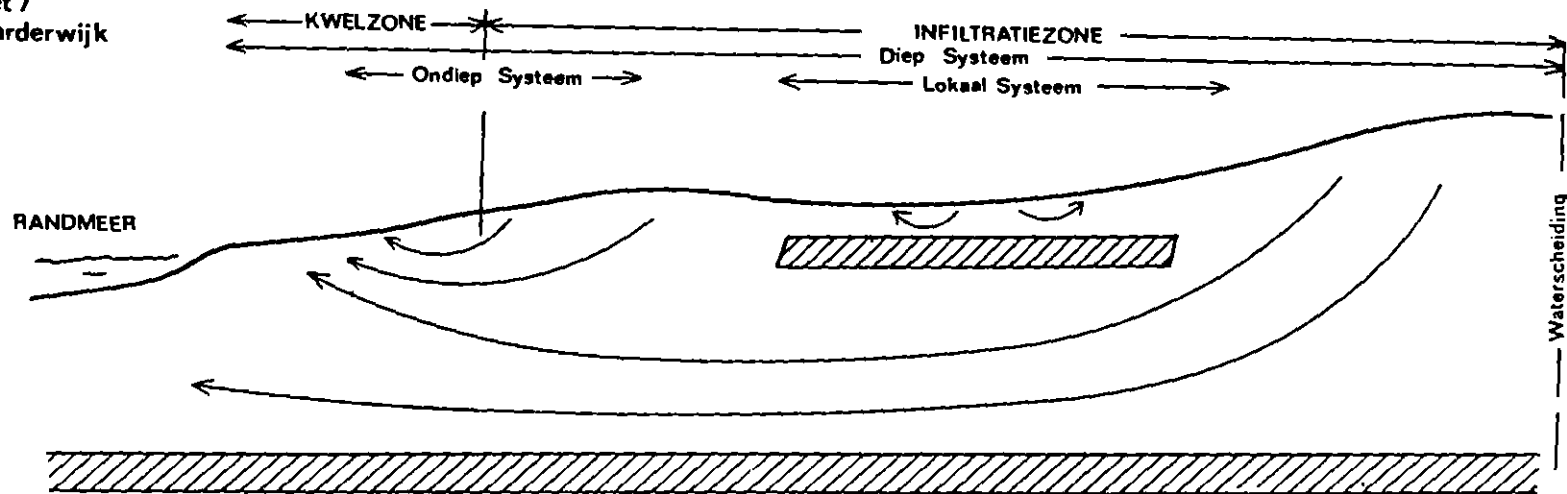
-  NORMALE POLARITEIT
-  OMGEKEERDE POLARITEIT
- ① "zwarte bodden" in Oosterschelde
- ② zwerfstenen uit Z-Zweden in formatie van Enschede
- ③ voorkomen van Augiet in zand van ± 400.000 j.g. of

Fig. 11. Overzicht van het Pleistoceen in Nederland

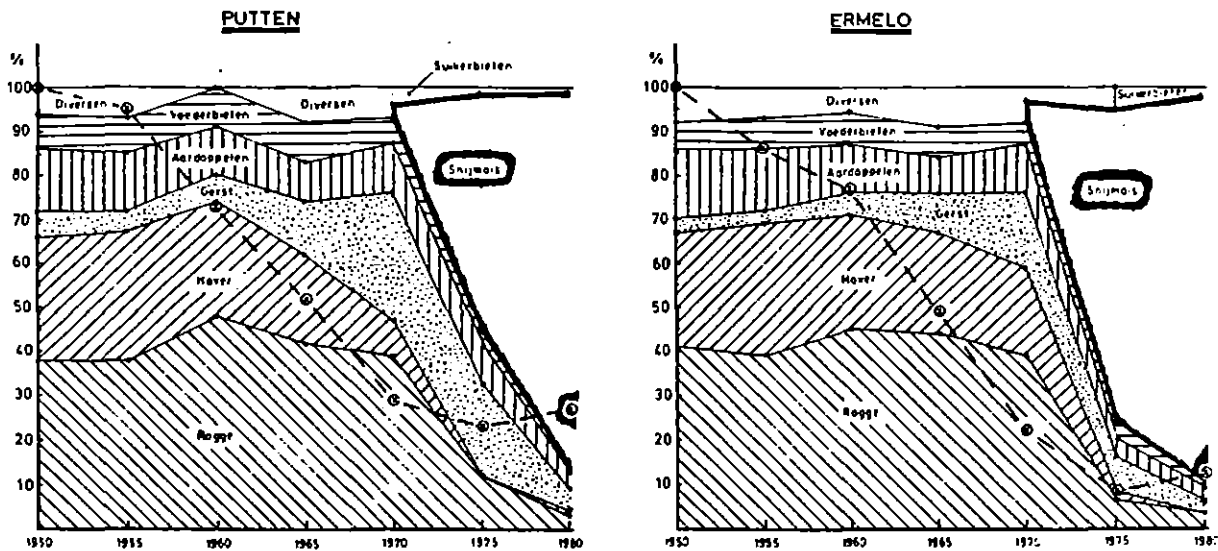
a. gebied Wezep / Nunspeet



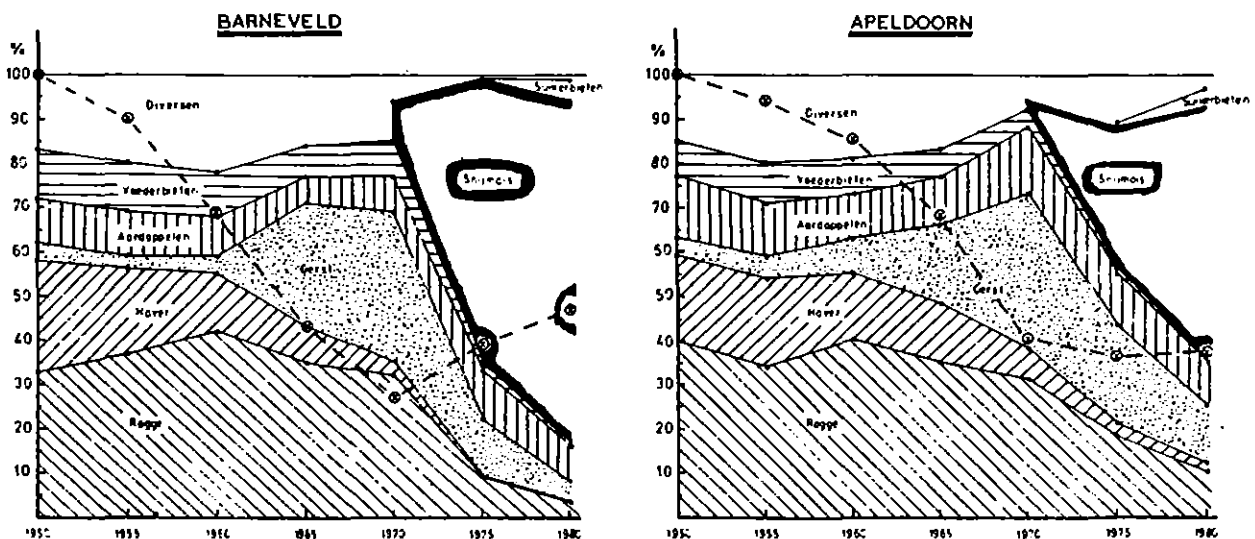
b. gebied Nunspeet / Harderwijk



Figuur 12: Stromingsbeeld Hierdense beekgebied

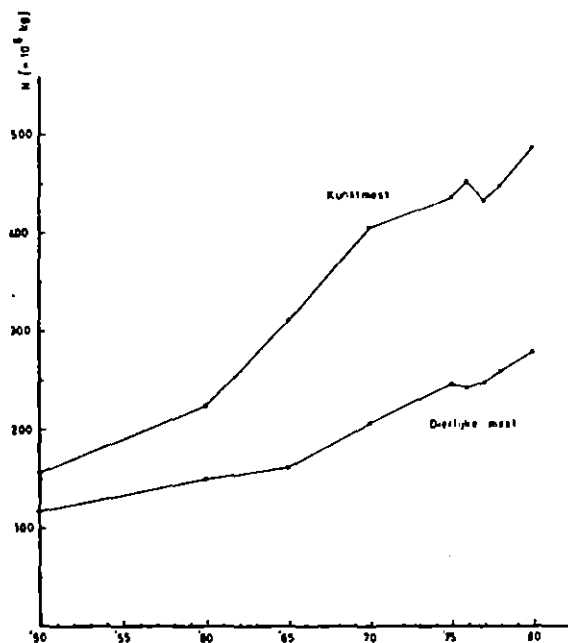


②: Oppervlakte bouwland als percentage van de oppervlakte in 1950.

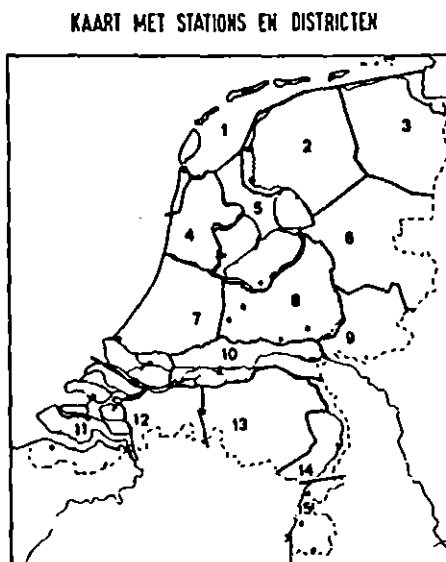


②: Oppervlakte bouwland als percentage van de oppervlakte in 1950.

Figuur 15 : Ontwikkeling van de akkerbouw in enkele gemeentes op de Veluwe.
Kumulatieve kurve van de oppervlaktes van de belangrijkste gewassen als percentage van het totale oppervlakte bouwland.



Figuur 14 : Produktie en gebruik van stikstof in de landbouw (CBS, 1981).



Figuur 15 : Distrikten indeling RIVM.

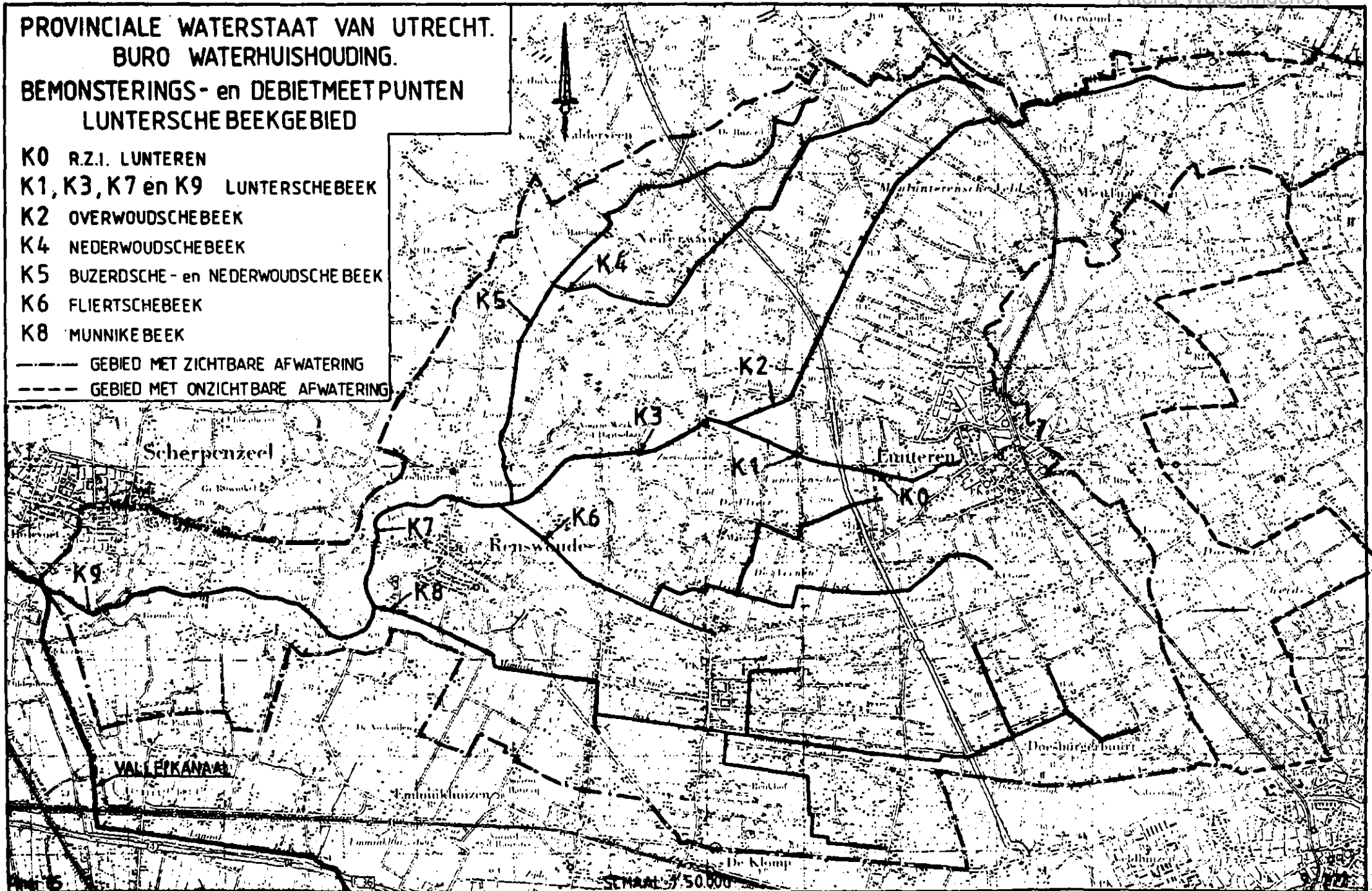
BIJLAGEN

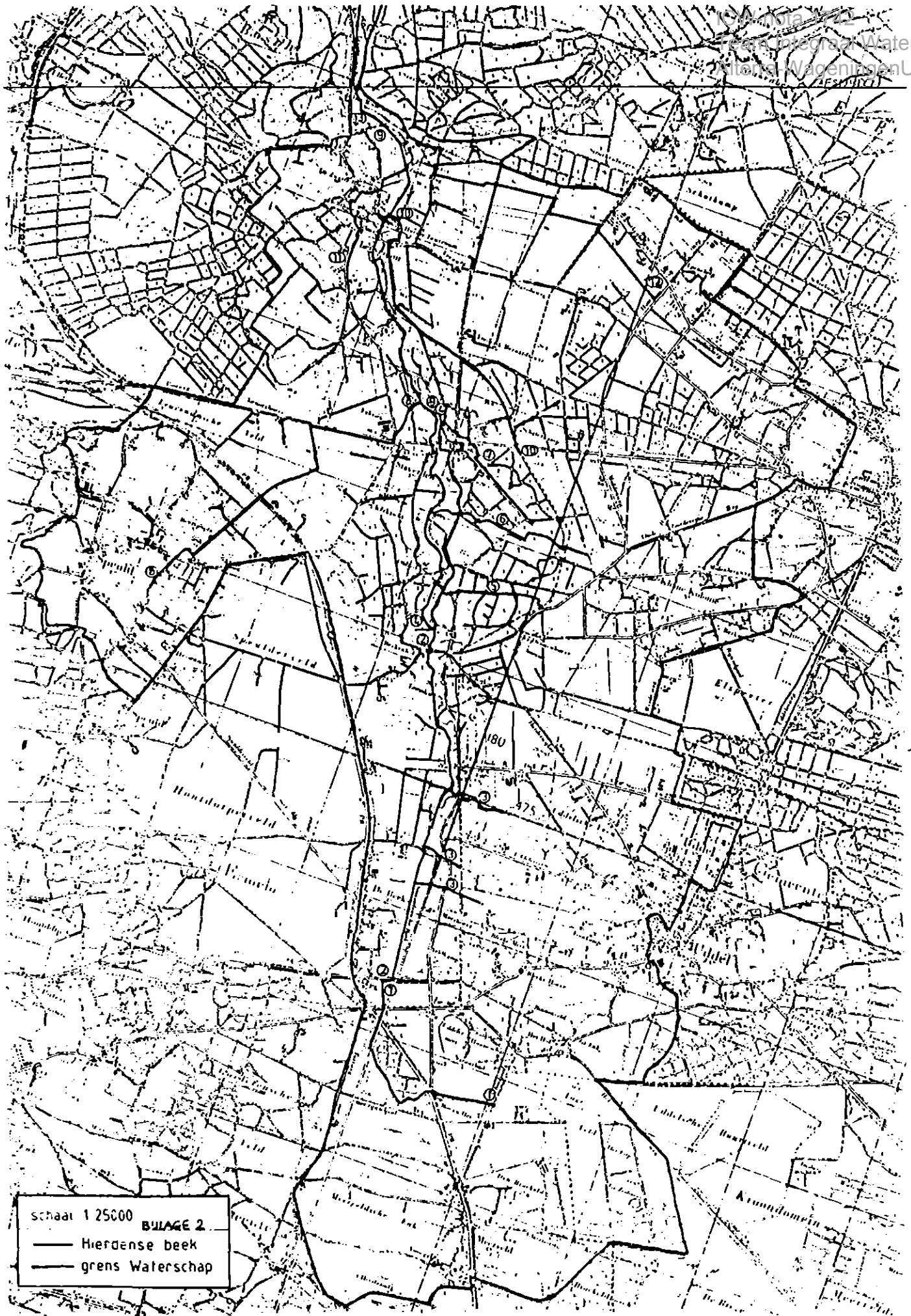
1. Kaart van het Lunterse beekgebied
2. Kaart van het Hierdense beekgebied
3. Toegepaste formules
 - 4.1. Lunterse beek deel van de afvoerverlooplijn
 - 4.2. Lunterse beek tabel perioden Lunterse beek met totalen en gemiddelden
 - 5.1. Hierdense beek deel van de afvoerverlooplijn
 - 5.2. Hierdense beek tabel perioden Hierdense beek met totalen en gemiddelden
 - 6.1. FLOWEX-toepassing
 - 6.2. Toepassing FLOWEX in het Lunterse beekgebied
 - 6.3. Toepassing FLOWEX in het Hierdense beekgebied
 - 7.1. Bepaling bijdrage van de niet-gerioleerde bebouwing in de buitengebieden
 - 7.2. Bepaling van de gemiddelde P- en N-vracht, niet afkomstig van uit- en afspoeling van landbouwgrond, in het stroomgebied van de Lunterse beek
 - 7.3. Bepaling van de gemiddelde P- en N vracht, niet afkomstig van uit- en afspoeling van landbouwgrond, in het stroomgebied van de Hierdense beek
 - 7.4. Bepaling van de grondwaterafvoercomponent en van de basisafvoer.

PROVINCIALE WATERSTAAT VAN UTRECHT.
BURO WATERHUISHOUDING.
BEMONSTERINGS- en DEBIETMEETPUNTEN
LUNTERSCHEBEEKGEBIED

- K0 R.Z.I. LUNTEREN
K1, K3, K7 en K9 LUNTERSCHEBEEK
K2 OVERWOUDSCHEBEEK
K4 NEDERWOUDSCHEBEEK
K5 BUZERDSCH- en NEDERWOUDSCHEBEEK
K6 FLIERTSCHEBEEK
K8 MUNNIKEBEEK

— GEBIED MET ZICHTBARE AFWATERING
- - - GEBIED MET ONZICHTBARE AFWATERING





Bijlage 3

Toegepaste formules

1. $Q(x) = Q(o)e^{-x/j}$

Formule die het uitputtensverloop volgens de lineaire reservoir theorie weergeeft.

2. $Q_t.C_t = Q_g.C_g + Q_i.C_i + Q_s.C_s$

Massa van de stoffenvracht in de rivierafvoer verdeelt over de vrachten afkomstig van de drie (denkbeeldige) reservoirs.

3. $\bar{C}_i = \frac{Q_t.C_t - Q_g - T_{gem}.d}{(Q_i + Q_5)}$

Bepaling van de gemiddelde stofconcentratie in de interflowafvoerkomponent, waarbij aangenomen wordt dat er géén oppervlaktewaterafvoer optreedt.

4. $\bar{C}_i = \frac{Q_t.C_t - Q_g.C_g - T_{gem}.d}{Q_i}$

Bepaling van de gemiddelde stofconcentratie in de interflowafvoerkomponent, waarbij aangenomen wordt, dat er oppervlakteafvoer optreedt.

5. $T_{gem}.d = T_{gem}$ vermenigvuldigd met het aantal dagen van de periode.

Bepaling van de stoffenvracht van de verspreide niet-gerioleerde bebouwing, neerslag op open water en het effluent van r.w.z.i.'s die directeur op de beek lozen.

6. $\bar{C}_s = \frac{Q_t(+s).C_t - Q_{2g}(+s).C_g - T_{gem}(+s).d - Q_i(+s).C_i(+s)}{Q_s}$

Bepaling van de gemiddelde stofconcentratie in de oppervlakteafvoerkomponent.

7. $\bar{C}_i(-s) = \frac{Q_t.C_t - Q_g.C_g - T_{gem}.d - Q_s.C_s' - Q_i(+s).C_i(+s)}{Q_i(-s)}$

Bepaling van de gemiddelde stofconcentratie in de interflowafvoerkomponent in perioden zonder oppervlakteafvoer.

Bijlage 3

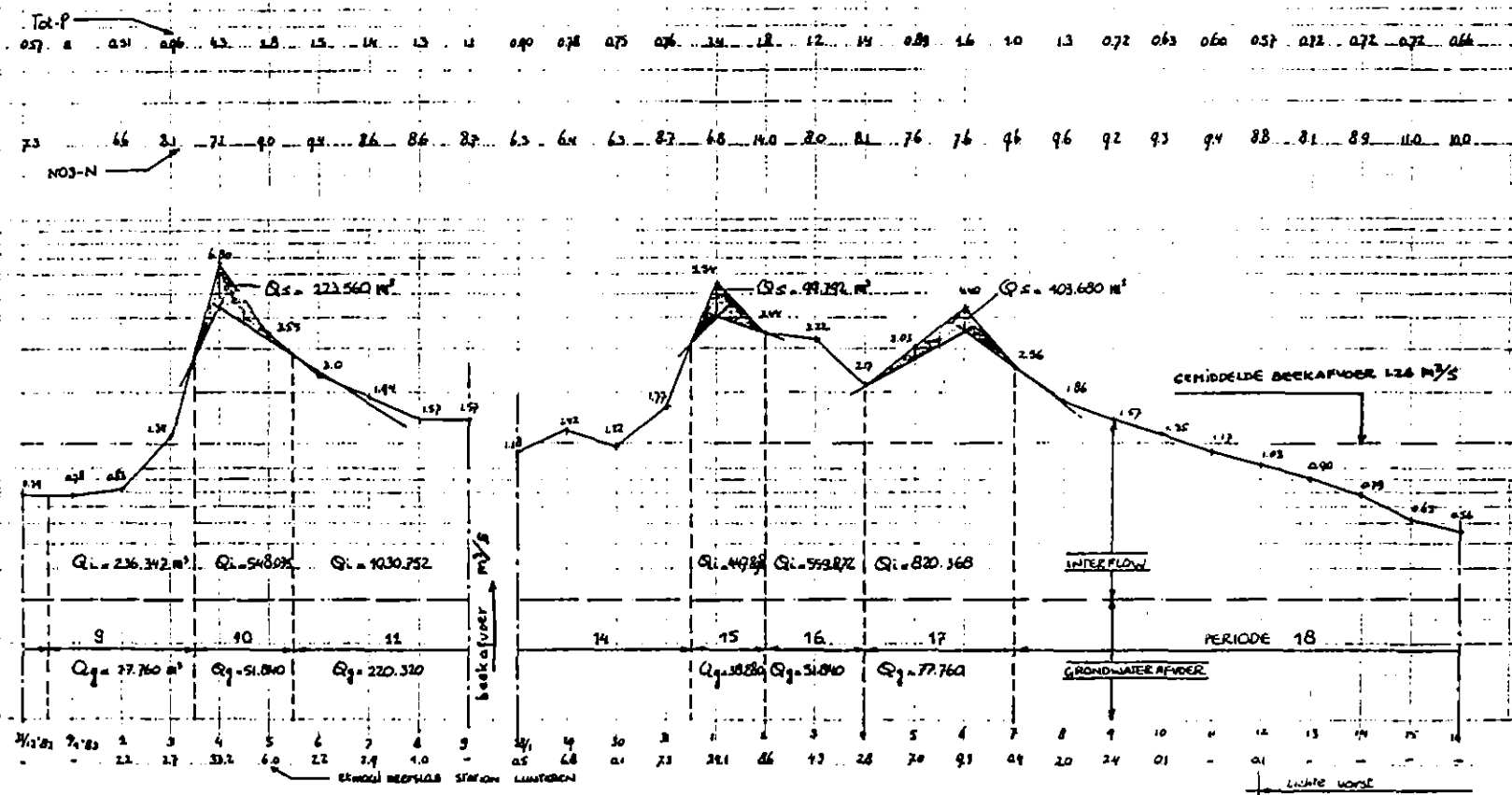
Verklaring van gebruikte letters en tekens

hoofdletters

C	: concentratie	(kg/m ³)
$\bar{C}$	: gemiddelde concentratie	(kg/m ³)
Q	: afvoerhoeveelheid	(m ³)
T _{gem}	: totale N of P hoeveelheid per dag afkomstig van de niet-gerioleerde verspreide bebouwing, neerslag op het open water en het effluent van r.w.z.i.'s die direkt op de beek lozen	(kg/dag)
Σ	: sommatie teken	
P	: fosfor	
N	: stikstof	
Kj-N	: Kjeldahl-stikstof	
NO ₃ -N	: nitraat-stikstof	

kleine letters

g	: grondwaterafvoerkomponent	
i	: interflowkomponent	
j	: reservoircoëfficiënt of karakteristieke tijd	
o	: begin tijdstip	
s	: oppervlakteafvoerkomponent	
(+s)	: geeft aan dat het perioden betreft waarin oppervlakteafvoer heeft plaatsgevonden	
t	: met behulp van de beekafvoergegevens berekende total	
tot	: totale hoeveelheid	
x	: tijdstip x	
(-s)	: geeft aan dat het perioden betreft waarin géén oppervlakteafvoer heeft plaatsgevonden.	



BIJLAGE 4.1

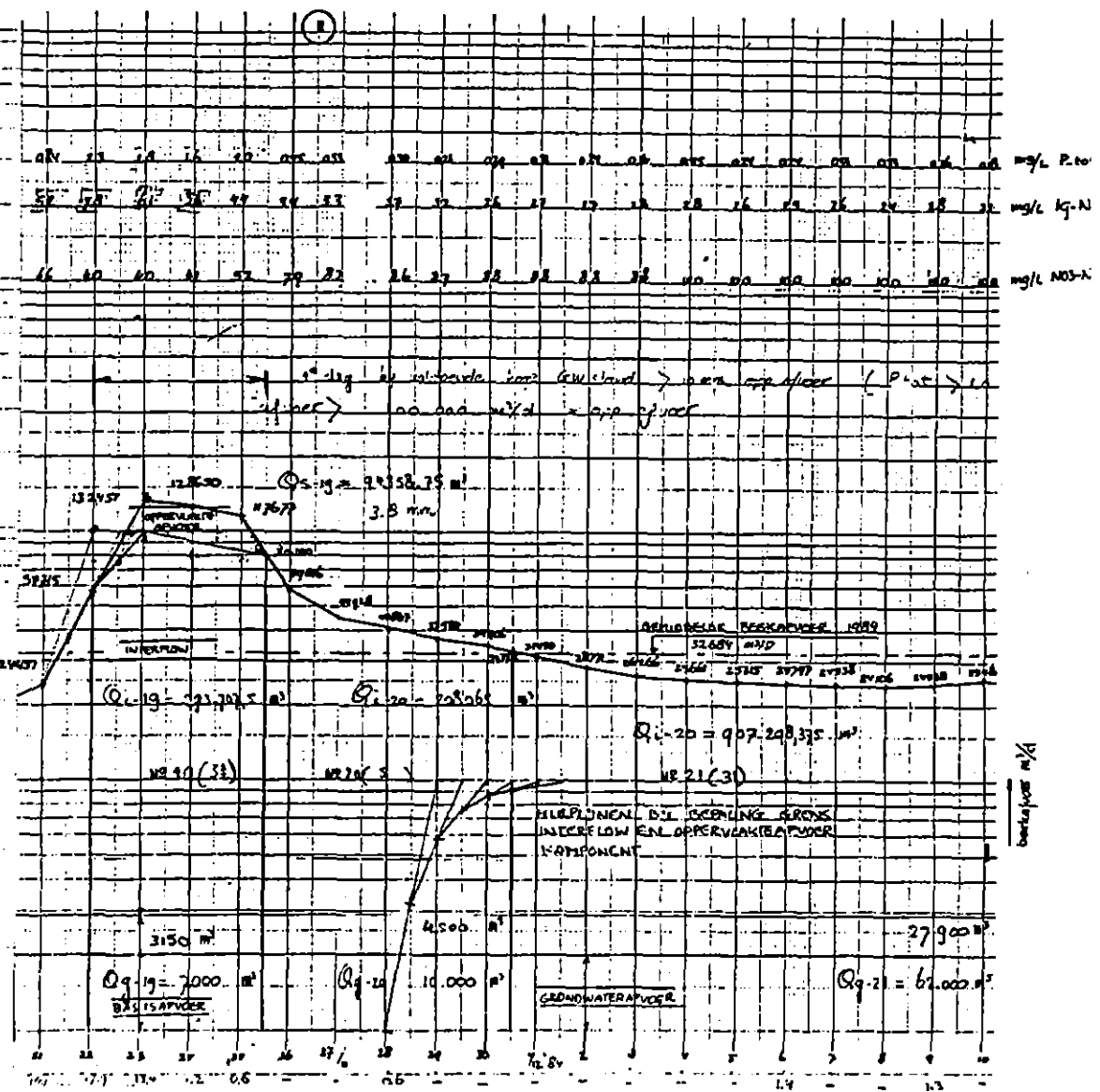
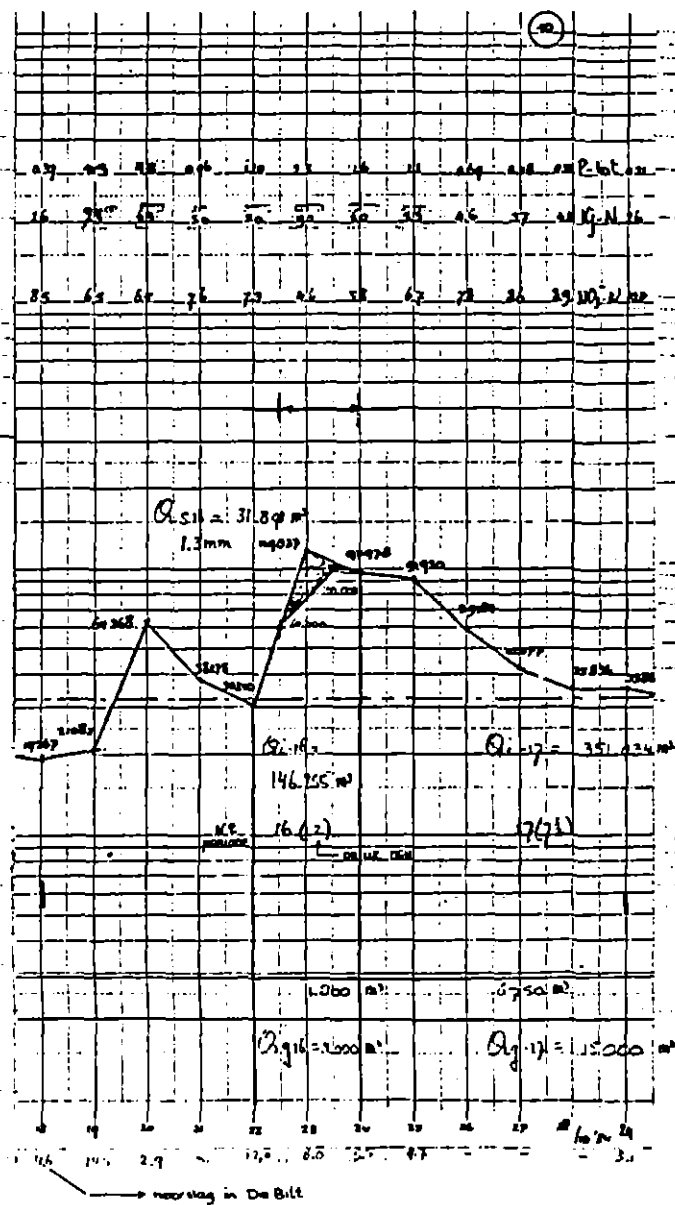
BIJLAGE 4.2.

nr	periode v.v. v.v. v.v. v.v.	d	Aangevoerde hoeveelheden (m³)			NO ₃ -N		(g/l)		P								kg-N			
			Q _{verp. l.h.} Q _g (m³)	Q ₁ (m³)	Q ₂ (m³)	Q ₁ -winst Q ₁ -winst	Q ₂ -winst Q ₂ -winst	Q ₁ -winst Q ₁ -winst	Q ₂ -winst Q ₂ -winst	Q ₁ -winst Q ₁ -winst	Q ₂ -winst Q ₂ -winst	Q ₁ -winst Q ₁ -winst	Q ₂ -winst Q ₂ -winst	Q ₁ -winst Q ₁ -winst	Q ₂ -winst Q ₂ -winst	Q ₁ -winst Q ₁ -winst	Q ₂ -winst Q ₂ -winst	Q ₁ -winst Q ₁ -winst	Q ₂ -winst Q ₂ -winst	Q ₁ -winst Q ₁ -winst	Q ₂ -winst Q ₂ -winst
1	1/1 - 1/1	81	11.000	934.030	308.251,5	761.744,5	761.744,5	3009,8	24	7,4	1206,7	2,2	16,2	160,2	320,7	4,2	3,4	438,9	16,5	1602,2	37,8
2	1/1 - 1/1	84	11.000	1811.047,5	-	1800.047,5	1800.047,5	14.151,4	24	7,4	1011,1	9,6	20,7	-	-	-	-	912,9	72,0	162,8	-
3	1/1 - 1/1	19	3.000	145.650	12740.75	162.500	162.500	1725,3	15	7,7	166,0	0,6	4,4	43,7	87,4	8,1	4,7	873,1	4,5	437,0	10,2
4	1/1 - 1/1	71	6.750	718.250	103.534,5	858.975	858.975	664,9	20	8,0	511,5	8,0	33,1	218,2	437,0	0,6	0,6	318,1	22,5	2184,8	31,2
5	1/1 - 1/1	21	41.000	891.785,14	-	933.492	933.492	8492,7	21,5	9,2	302,3	8,6	12,8	-	-	-	-	3.063	64,5	146,7	-
6	1/1 - 1/1	31	61.000	1023.077,14	-	1112.977,14	1112.977,14	8.471,5	31,0	9,6	270,1	12,4	91,3	-	-	-	-	3.405	91,0	211,6	-
7	1/1 - 1/1	30	60.000	606.435,14	-	663.935,14	663.935,14	5.811,6	30,0	9,4	139,1	11,0	88,4	-	-	-	-	2.260	90,0	204,8	-
8	1/1 - 1/1	31	61.000	439.032,14	-	380.932,14	380.932,14	4.174,7	31,0	9,5	119,7	12,4	91,3	-	-	-	-	1721,9	91,0	211,6	-
9	1/1 - 1/1	30	60.000	501.683	-	560.683	560.683	4.804,2	30,0	10,2	142,7	12,0	88,4	-	-	-	-	2171,2	90,0	204,8	-
10	1/1 - 1/1	8	18.000	102.464,14	-	120.464,14	120.464,14	1.053,6	8,0	10,1	53,3	3,6	26,5	-	-	-	-	820,7	27,0	61,4	-
11	1/1 - 1/1	11	3.000	81.775	18.965,14	105.861,14	105.861,14	875,2	15	8,2	82,9	0,6	4,4	24,6	49,2	1,8	0,2	451,0	4,5	145,8	10,2
12	1/1 - 1/1	20	41.000	810.521,14	-	851.521,14	851.521,14	4.145,1	20,5	18,5	260,3	8,2	60,4	-	-	-	-	2.131,7	61,5	174,9	-
13	1/1 - 1/1	3	61.000	95.515,14	-	156.515,14	156.515,14	1.740,4	31,0	11,3	32,6	11,4	91,3	-	-	-	-	506,1	91,0	211,6	-
14	1/1 - 1/1	30	60.000	895.704,14	-	955.704,14	955.704,14	3.776,7	30,0	9,1	247,6	11,0	88,4	-	-	-	-	1491,3	90,0	204,8	-
15	1/1 - 1/1	21	41.000	663.473,14	-	704.473,14	704.473,14	6.009,6	21,5	6,5	674,3	8,6	63,3	-	-	-	-	4.111	64,5	146,7	-
16	1/1 - 1/1	1	6.000	146.775	31.891	181.946	181.946	948,8	10	8,6	372,1	0,8	3,9	43,9	87,8	8,7	7,3	124,1	6,0	438,8	13,7
17	1/1 - 1/1	71	15.000	361.034	-	376.034	376.034	3.026,1	25	9,0	179,6	10,0	22,1	-	-	-	-	1630,1	22,5	51,2	-
18	1/1 - 1/1	11	41.000	243.776,14	-	284.776,14	284.776,14	3.363,9	21,5	-	197,9	0,6	63,3	-	-	-	-	1.611	64,5	146,7	-

-2-

BIJLAGE 4.2.

nr	PERIODE • 0000 • 1200 • 2400	d	AFGEVOERDE HOOGTEWEDEN (m³)				NOS-N			P								KJ N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
			Q ₂ (m³)	Q ₁ (m³)	Q ₂ (m³)	Q ₁ -breukend	[kg] 51.12	[kg] 34.19	C ₁ -1 C ₁ -2	[kg] 31.12	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19	[kg] 34.19</



BULAGE 5.1

GEDGELTE V/D AFVOEVERLOOP L'IN
MIERDENSE GEEK

ICC - 1007, 100719
25-501426

BIJLAGE 5.2.

NR	PERIODE : 0.00 hr : 12.00 hr : 24.00 hr	d	AFGEVOERDE HOEVEELHEDEN [M³]				N03-N		P										KJ-N				
			Q ₂ [M³]	Q _i [m³]	Q _s [m³]	Q ₂ -bodem	[kg]	[kg]	C ₁ ...	[kg]	[kg]	[kg]	Q ₁ -C ₁ -1	Q ₁ -C ₁ -2	C ₁ -C ₂ -Q ₃		[kg]	Q ₁ -C ₁	Q ₁ -C ₁	Q ₁ -C ₁	T ₂	C ₁	
							Q ₂ -ct	Q ₂ -cg	C ₁ -ct	Q ₁ -ct	Q ₁ -cg	Q ₁ -cg			C ₁ -C ₂	C ₂	Q ₁ -C ₁						Q ₁ -C ₁
1	1/10 - 1/10	6 1/2	22.976	-	-	-	11.1	10.2	-	-	11.1	10.2	19.5	-	-	-	-	27.1	10.2	-	2133	-	-
2	1/10 - 1/10	2 1/2	635.040	457.488	-	-	2.378	27.8	6.2	115.1	117.0	236.9	-	-	-	-	-	1216.4	932.4	-	276.2	-	1.7
3	1/11 - 1/11	30	177.600	1343.520	-	-	12.332	88.8	8.9	626.7	155.5	902.4	-	-	-	-	-	1982.0	1166.4	-	338.1	-	3.6
4	1/12 - 1/12	5 1/2	142.560	157.680	-	-	1.481	71.3	8.9	168.9	28.5	165.4	-	-	-	-	-	1012.3	233.8	-	611.0	-	1.2
5	1/12 - 1/12	8	207.360	869.184	-	-	6.516	102.7	7.4	1799.8	41.5	260.6	-	-	-	-	-	5571.2	511.0	-	892.2	-	5.0
6	1/12 - 1/12	5 1/2	142.560	589.075	-	-	4.878	71.3	8.2	910.9	28.5	165.4	-	-	-	-	-	3746.0	233.8	-	670.0	-	5.0
7	1/12 - 1/12	1	15.920	160.704	20.304	-	1.911	8.0	12.0	378.8	5.2	30.1	48.2	96.4	12.2	9.8	275.2	58.9	482.1	111.3	-	-	3
8	1/12 - 1/12	11	285.120	994.939	-	-	10.685	102.6	10.6	1931.1	37.0	330.9	-	-	-	-	-	5716.6	427.7	-	1124.0	-	4.1
9	1/1 - 1/1	3	27.760	236.347	-	-	2.351	38.9	9.8	118.3	15.6	93.2	-	-	-	-	-	1488.8	116.6	-	332.8	-	5.1
10	1/1 - 1/1	2	51.840	548.035	223.560	-	6.470	25.9	11.8	3285.6	10.4	60.2	164.4	328.8	12.9	12.2	6715.7	77.8	1444.1	221.5	21.4	-	4.4
11	1/1 - 1/1	8 1/2	220.320	1030.752	-	-	10.681	110.2	10.2	1902.0	44.1	293.7	-	-	-	-	-	6046.4	330.5	-	949.8	-	3.0
12	1/1 - 1/1	2	51.840	309.744	51.840	-	3.266	25.9	10.1	892.0	10.4	60.2	91.9	185.8	12.3	14.5	2932.8	77.8	929.2	222.5	33.0	-	3.0
13	1/1 - 1/1	14	362.880	1030.752	-	-	10.752	181.4	10.5	1191.0	72.6	421.1	-	-	-	-	-	2666.5	344.3	-	1557.8	-	5.8
14	1/1 - 1/1	1 1/2	38.880	207.468	-	-	1.662	19.4	7.9	135.8	7.8	45.1	-	-	-	-	-	217.6	58.3	-	166.9	-	2.4
15	1/2 - 1/2	1 1/2	38.880	447.898	99.792	-	2.218	19.4	11.6	1094.1	7.8	45.1	134.4	268.7	15.8	14.4	3605.5	58.3	1343.7	166.9	20.4	-	3.0
16	1/2 - 1/2	2	51.840	559.872	-	-	3.791	25.9	9.2	231.4	10.4	60.2	-	-	-	-	-	2188.6	77.8	-	222.5	-	3.6
17	1/2 - 1/2	3	77.760	820.368	103.680	-	6.708	38.9	8.1	1082.9	15.6	90.2	246.1	492.2	4.7	2.3	3588.6	116.6	246.1	333.8	6.5	-	3.4
18	1/2 - 1/2	21 1/2	557.280	1042.092	-	-	11.609	288.6	14.7	1902.2	111.5	666.7	-	-	-	-	-	6800.0	835.9	-	2347.3	-	-

BIJLAGE 5.2.

nr	periode	d	AFGEVOERDE HOEVENHEDEN (m³)				NO ₃ -N		P										kj-N						
			Q _{verm.kb} Q ₁ (m³)	Q ₁	Q ₂	Q ₁ -gemidd. Q ₁ -bordered	Q ₁ .ct	Q ₂ .cg	C ₁	Q ₁ .ct	Q ₂ .cg	-3-	Q ₁ .ct	Q ₂ .cg	Q ₁ .ct	Q ₂ .cg	Q ₁ .ct	Q ₂ .cg	Q ₁ .ct	Q ₂ .cg	Q ₁ .ct	Q ₂ .cg	Q ₁ .ct	Q ₂ .cg	
11	11/4 - 11/4	31	3150			407.657,3			6.1																
			7000	293.707,2	94.358,11	348.216,4	1384,6	3,8	4.6	678,1	1,4	10,3	88,1	176,2	4,7	2,0	137,3	10,3	881,1	23,9	14,4				
			4500			217.901			8,7																
			10000	200.065		222.965	1822,1	5,0	-	724	1,0	14,7	-	-	-	-	713,3	15,0	-	34,1	-				
12	12/4 - 12/4	31	27.920			993.170			10.4																
			62.000	907.848,41		997.498,71	9510,8	31,0	-	672,3	11,4	9,3	-	-	-	-	2877,7	43,0	-	211,6	-				
			16.800			804.341			11,9																
			42.000	348.541,8		607.331,0	6531,0	21,0	-	44,2	8,4	51,6	-	-	-	-	1746,0	63,0	-	116,3	-				
13	13/4 - 13/4	31	1.800			136.649,5			6.5																
			3000	49.846,5	20.376,5	129.423	624,2	1,8	5.4	315,1	0,6	3,8	30,0	54,9	7,4	5,9	1447,0	4,5	300,0	8,3	55,8				
			6.800			512.000,5			8,5																
			17.000	497.413		323.813	4256,7	8,5	-	563,0	3,4	11,3	-	-	-	-	3946,2	15,5	-	47,1	-				
14	14/4 - 14/4	31	22.400			644.546			11,3																
			36.000	346.967		645.367	6456,7	28,0	-	273,1	11,2	70,1	-	-	-	-	1861,3	84,0	-	155,1	-				
			24.800			905.817			9,6																
			62.000	893.524,14		906.314,14	7924,1	31,0	-	349,6	12,4	77,6	-	-	-	-	3086,6	91,0	-	171,7	-				
15	15/4 - 15/4	31	10.000			532.657			7.1																
			25.000	517.106		852.106,14	3680,1	12,8	-	292,4	8,0	3,3	-	-	-	-	2130,0	37,5	-	69,2	-				
			1.100			145.973			6.1																
			3000	120.866,8	13.146,8	138.263	740,8	1,5	5.3	118,1	0,6	3,8	36,3	72,5	4,6	1,9	744,1	4,5	361,3	8,3	27,9				
16	16/4 - 16/4	31	13.800			348.132			7.6																
			32.000	304.695		349.495	1858,8	16,0	-	239,9	6,4	40,1	-	-	-	-	1846,1	48,0	-	88,6	-				
			24.800			748.620			9,6																
			62.000	661.956		748.746	6794,1	31,0	-	288,6	12,4	77,6	-	-	-	-	2901,6	91,0	-	171,7	-				
17	17/4 - 17/4	31	24.000			1025.427			9.1																
			60.000	941.021		1033.021	8560,7	30,0	-	663,4	11,0	75,1	-	-	-	-	4728,9	40,0	-	164,2	-				
			24.800			441.935			11,0																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
18	18/4 - 18/4	31	24.800			448.611			10.0																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			23.000	1929.837,5	444.762,8	2461.450			9.0	-	100,0	8,6	63,3	57,9	1157,9	3,8	2,6	-	-	-	-	-	-	-	
			24.800	1929.837,5	444.762,8	2461.450			9.3	-	100,0	8,6	63,3	57,9	1157,9	3,8	2,6	-	-	-	-	-	-	-	
19	19/4 - 19/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	220.765	335.23	362.686			9.4	-	112,1	1,2	2,5	46,2	122,5	6,3	4,3	-	-	-	-	-	-	-	
			24.800			441.935			9.4	-	112,1	1,2	2,5	46,2	122,5	6,3	4,3	-	-	-	-	-	-	-	
			62.000	5226775,7		6488.775,5			9.4	-	112,1	1,2	2,5	46,2	122,5	6,3	4,3	-	-	-	-	-	-	-	
20	20/4 - 20/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
21	21/4 - 21/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
22	22/4 - 22/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
23	23/4 - 23/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
24	24/4 - 24/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
25	25/4 - 25/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
26	26/4 - 26/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
27	27/4 - 27/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
28	28/4 - 28/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
29	29/4 - 29/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	412.367		449.367	4173,5	31,0	-	236,3	12,4	77,6	-	-	-	-	1624,4	93,0	-	171,7	-				
			24.800			441.935			9.4																
			62.000	354.984		441.784	3420,8	31,0	-	146,1	12,4	77,6	-	-	-	-	1576,2	93,0	-	171,7	-				
30	30/4 - 30/4	31	24.800			441.935			9.4																
			62.000	41																					

Bijlage 6.1

Toepassing FLOWEX

Door het I.C.W. te Wageningen is het komputermodel FLOWEX ontwikkeld waarmee voor 15 standaardbodemprofielen voor verschillende ontwateringssituaties de oppervlakteafvoer per (halve)maand voor de maanden oktober tot en met mei in de periode 1951 tot en met 1985 kan worden berekend. Hierbij wordt uitgegaan van neerslag- en verdampingsgegevens van het K.N.M.I.-station te De Bilt.

De bodemprofielen zijn ontleend aan BEUVING (1984) die voor elk van de profielen pF-kurves en k(h)-relaties heeft beschreven.

Voor een uitvoerige beschrijving van het model FLOWEX wordt verwezen naar BUITENDIJK (1984 - Lit. 19).

Het Technische Adviesbureau van de Unie van Waterschappen (TAUW) heeft aan het I.C.W. de opdracht verstrekt met behulp van FLOWEX de oppervlakteafvoer voor twee profielen te berekenen, die representatief worden geacht voor het stroomgebied van de Lunterse beek.

Dit zijn ook de enige projecten waarbij volgens FLOWEX enige oppervlakteafvoer van betekenis kan optreden in het onderzochte gebied.

Het éérste, profiel A genaamd, is typerend voor een lemige beekeerdgrond. Het profiel heeft een ontwateringsdiepte (draindiepte) van 30 cm beneden het maaiveld en valt in grondwatertrap (Gt) Klasse II. Dit profiel representeert één van de natste delen van Gelderland en geeft dan ook het maximum aan oppervlakteafvoer wat men met FLOWEX zal berekenen.

Uitgaande van de ontwateringsdiepte zijn drie drainageintensiteiten vastgesteld met een gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) van respectievelijk 5, 11 en 16 cm beneden het maaiveld.

Het tweede, profiel B genaamd, is typerend voor een leemarme beekeerdgrond. Het profiel heeft een ontwateringsdiepte van 60 cm beneden het maaiveld en valt in Gt. Klasse II en III. Uitgaande van deze ontwateringsdiepte zijn drie drainageintensiteiten vastgesteld met een gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) van respectievelijk 19, 25 en 33 cm beneden het maaiveld. Voor elk van deze zes situaties zijn met behulp van FLOWEX de oppervlakteafvoerhoeveelheden bepaald.

De uitkomsten van het FLOWEX zijn in deze studie als volgt toegepast. Eerst is de oppervlakte van de stroomgebieden bepaald met Gt klassen II en III, hiervan is het gedeelte bepaald met grondsoorten overeenkomend met profiel A en B. Dit geeft het gedeelte van het stroomgebied, waar oppervlakteafvoer kan optreden. Door nu te kijken naar de GHG (met behulp van peilbuiswaarnemingen) is een indeling te maken in de zes situaties waar de oppervlakteafvoerhoeveelheden met FLOWEX zijn berekend.

Zwakke punten methode

- de aangenomen maaiveld berging (2 mm) heeft grote invloed op de oppervlakteafvoer
- fouten van enkele centimeters in de bepaling van de grondwaterstand, wat zeer nauwkeurig is, geven wel grote afwijkingen in de oppervlakteafvoer
- de neerslag gegevens van De Bilt zijn ingevoerd, plaatselijke neerslaggegevens kunnen hiervan belangrijk afwijken;
- het is moeilijk een werkelijk optredende situatie in een stroomgebied zodanig te schematiseren zodat met enige zekerheid te zeggen is, dat de berekende oppervlakteafvoer de werkelijk optredende oppervlakteafvoer benaderd met behulp van FLOWEX.

Bijlage 6.2

Toepassing FLOWEX IN HET Lunterse beekgebied

De oppervlakte van het zichtbare en het ondiepe niet zichtbare afwateringsgebied bedraagt 7.370 ha. De berekende oppervlakteafvoer bedraagt in de periode 1 oktober 1982 tot 1 juni 1983 12,9 mm.

Met behulp van de Stiboka-bodemkaarten kan men de volgende grondwatertrappenindeling (Gt) van het stroomgebied maken. De oppervlakte met Gt. Klasse II bedraagt 452 ha en de oppervlakte met Gt Klasse III bedraagt 3.716 ha. Hiervan bestaat 85% (3.543 ha) uit lemig fijn zand, dit valt onder type A. Met behulp van peilbuismetingen is voor dit gebied een GHG vastgesteld van ongeveer 15 cm beneden het maaiveld. In de berekening is de oppervlakteafvoer bepaald over een gebied van 7.370 ha. De oppervlakte die in aanmerking komt voor oppervlakteafvoer (3.543 ha) is 48% van deze oppervlakte (7.370 ha).

De met FLOWEX berekende waarden voor de oppervlakteafvoer staan hieronder in tabel 18 vermeld. Bij de GHG van 11 en 16 cm beneden het maaiveld behoren oppervlakteafvoerhoeveelheden van respectievelijk $0,48 \times 31,2 = 15,0$ mm en $0,48 \times 26,6 = 12,8$ mm, onwaarschijnlijk dicht in de buurt van de berekende 12,9 mm.

Bijlage 6.3

Toepassing FLOWEX in het Hierdense beekgebied

De oppervlakte van het zichtbare afwateringsgebied bedraagt 2.460 ha. De berekende oppervlakteafvoer bedraagt in de periode 1 januari 1984 tot 1 januari 1985 : 19,1 mm en in de periode 1 januari 1985 tot 1 september 1985 1,4 mm.

Met behulp van de Stiboka-bodemkaarten zijn de volgende waarden verkregen. Van het zichtbare afwateringsgebied heeft 566 ha Gt-Klasse II en III. Van deze oppervlakte is 80% (453 ha) lemig, overeenkomend met type A. Dit is tevens de oppervlakte die voor oppervlakteafvoer in aanmerking komt. Deze oppervlakte komt overeen met 18% van het zichtbare afwateringsgebied. In de tabellen 19 en 20 staan de oppervlakteafvoerwaarden die berekend zijn met FLOWEX aangegeven.

Voor de eerste periode bedraagt de oppervlakteafvoer voor het type A 14,0 tot 10,4 mm, iets lager dan de berekende waarde van 19,1 mm.

Voor de tweede periode bedraagt de oppervlakteafvoer voor het type A 0 tot 0,4 mm, beduidend lager dan de berekende 1,4 mm. Gelet op deze uitkomst zal de oppervlakte, die voor oppervlakteafvoer in aanmerking komt zal waarschijnlijk wat groter zijn en daarmee de faktor 0,18.

	okt	nov	dec	jan	febr	mrt	apr	mei	T	0,48T
A1	-	-	4,6(3)	11,8(3)	5,5(5)	3,6(2)	7,2(2)	6,9(2)	39,6	19,0
A2	-	-	2,9(3)	10,8(3)	3,1(2)	1,9(2)	7,2(2)	5,3(2)	31,2	15,0
A3	-	-	1,8(2)	10,3(3)	2,0(2)	1,0(2)	7,1(2)	4,4(2)	26,6	12,8
B1	-	-	-							
B2	-	-	-							
B3	-	-	-							

Tabel 18

Oppervlakteafvoer in mm berekend met FLOWEX, in het Lunterse beekgebied in de periode 1/1'82 - 1/6'83.

A : ontwateringsdiepte 30 cm - mv. voor 3 drainageintensiteiten

B : ontwateringsdiepte 60 cm - mv. voor 3 drainageintensiteiten

(2) aantal dagen waarop oppervlakteafvoer plaats vond

	jan	feb	mrt	apr	mei	okt	nov	dec	T	0,18T
A1	23,1(9)	20,3(4)	-	-	6,5(2)	10,4(6)	17,7(3)	-	78,0	14,0
A2	17,5(6)	17,3(4)	-	-	6,5(2)	7,3(6)	16,0(3)	-	64,6	11,6
A3	15,3(6)	15,6(4)	-	-	6,5(2)	5,5(6)	15,1(3)	-	58,0	10,4
B1	23,5(9)	20,5(4)	-	-	-	4,5(2)	2,8(2)	-	51,3	9,2
B2	8,2(4)	12,1(4)	-	-	-	-	-	-	20,3	3,7
B3	-	0,9(2)	-	-	-	-	-	-	0,9	0,2

Tabel 19

Oppervlakteafvoer in mm berekend met FLOWEX, in het Hierdense beekgebied in de periode 1/1'84 - 31/12'84

	jan	feb	mrt	apr	mei	okt	nov	dec	T	0,18T
A1	-	-	-	2,4(2)					2,4	0,4
A2	-	-	-	1,2(2)					1,2	0,2
A3	-	-	-	0,5(1)					0,5	0
B1	-	-	-	-					-	
B2	-	-	-	-					-	
B3	-	-	-	-					-	

Tabel 20

Oppervlakteafvoer in mm berekend met FLOWEX, in het Hierdense beekgebied in de periode 1/1'85 - 1/9'85

A : ontwateringsdiepte 30 cm - mv. voor 3 drainageintensiteiten

B : ontwateringsdiepte 60 cm - mv. voor 3 drainageintensiteiten

(2) aantal dagen waarop oppervlakteafvoer plaatsvond.

Bijlage 7.1.

Bepalingen bijdrage van de niet-gerioleerde bebouwing in de buitengebieden

	produktie inw/d [1]		geen lozing op opp.vl. water	indi- rekte lo- zing [2]	P	N	direk- te lozing	P	N	Tot-P	Tot-N
toiletwater	1,5	8	45%	55%	0,29	2,20	-	-	-	0,29	2,20
wasmachine	1,1	-	16%	51%	0,20	-	33%	0,36	-	0,56	-
keukenwater	0,4+	2+	18%	49%	0,07	0,12	33%	0,13	0,66	0,20	0,78
	3	10								1,05	2,98

Tabel 21

De percentages zijn afkomstig van een enquête onder 76 van de 890 woningen in het buitengebied in het stroomgebied van de Lunterse beek (Lit. 16).

- [1] De geproduceerde hoeveelheden P en N per inwoner per dag volgens HOEKSTRA en STEENVOORDEN, 1981; V.R.O.M., 1982.
In tabel 7 zijn hiervoor respectievelijk 4,1 en 12,9 g/i.e./dag aangenomen.
- [2] Onder indirecte lozingen worden lozingen via septiktanks, (be)zinkputten e.d. verstaan.
De volgende verwijderingspercentages zijn aangehouden:
50% N-verwijdering
35% P-verwijdering.

Voor de berekening is aangehouden dat per i.e. per dag, in het niet gerioleerde buitengebied, 1,1 gram Tot-P en 3,0 gram Tot-N in het oppervlaktewater terecht komt.

Bijlage 7.2

Bepaling van de gemiddelde P-vracht en N-vracht, niet afkomstig van uit- en afspoeling van landbouwgrond, in het stroomgebied van de Lunterse beek, gedurende de periode 1 oktober 1982 tot 1 juni 1983

De gegevens zijn afkomstig van Lit. 16.

Lunterse beek periode 1 oktober 1982 - 1 juni 1983 (243 dagen)

	P [kg]	%	N [kg]	%
r.w.z.i.'s	3.320	6,7	14.307	4,2
agrarische lozingen	700	1,4	174	0,1
overstorten	50	0,1	189	0,1
huishoush. lozingen	3.220	6,5	11.780	3,4
neerslag op open water	19+	0,0+	589+	0,2+
	<u>7.309</u>	<u>14,8</u>	<u>27.039</u>	<u>7,9</u>

De gemiddelde P-vracht bedraagt: 30,078 kg/d.

De gemiddelde N-vracht bedraagt: 111,272 kg/d.

De percentages zijn ten opzichte van de totale beekafvoer doorgegeven.

In 1983 had de r.w.z.i. te Lunteren een gemiddelde effluentconcentratie van 33,2 mg Kj-N/l (zuiveringsschap Veluwe).

De totale afvoer van de r.w.z.i. in bovengenoemde periode bedroeg 365.869 m³ met de hiervoor genoemde concentratie komt dit overeen met 12.147 kg-N.

De totale stikstofvracht van de r.w.z.i. in de berekening bedraagt 10.880 kg. Na deze getallen in overweging te hebben genomen, is als vereenvoudiging aangenomen dat alle stikstof als Kj-N aanwezig was in het effluent van de r.w.z.i.'s.

Het overige deel van de hiervoor berekende N-vracht zijn hoofdzakelijk als NO₃- en NH₄-ionen in het beekwater aanwezig.

Procentueel wordt in deze berekening geen grote fout gemaakt als alles als Kj-N wordt beschouwd.

Bijlage 7.3

- 1 -

Bepaling van de gemiddelde P-vracht en N-vracht, niet afkomstig van uit- en afspoeling van landbouwgrond, in het stroomgebied van de Hierdense beek

Volgens het W.K.B.P. 1981 - 1985 liggen de volgende dorpen en woonkernen in het stroomgebied van de Hierdense beek.

woonkern	inwoners i.e.	recreatie i.e.'s	inw. op riolering		recreatie op riolering		tot -l-	deel i.e.'s op oppervlak- te of grond- water
			i.e.'s	dwa m3/u	i.e.'s	dwa m3/u		
Speulde '81	471	1.036	-	-	-	-	989	0,50 - 0,75
Elspeet '81	1.987	1.089	1.985	24	477	5,6	308	0,25 - 0,50
Uddel '81	1.180	288	-	-	-	-	1.324	0,33 - 0,67
Uddel '85	1.130	288	665	8	-	-	609	0,33 - 0,67
Meerveld	-	-	-	-	-	-	+ 300	0,5 - 1,0
Kl. Kolonie	-	-	-	-	-	-	+ 300	1,0

Tabel 22

1. Het totaal aantal niet-gerioleerde i.e.'s; de rekreanten zijn voor 0,5 i.e. per persoon meegeteld.
2. Deze waarden geven het door middel van kaartstudie geschatte deel van de niet-gerioleerde inwoners aan, waarvan het afvalwater in het ondiepe grondwaterpakket of in het oppervlaktewater van het Hierdense beekgebied terecht komt en waarmee in deze studie rekening is gehouden bij de balansrekeningen.

Uitwerking van de laatste kolom levert voor 1981 tot en met 1984 1.463 tot 2.379 en voor 1985 1.225 tot 1.902 niet-gerioleerde i.e.'s. In deze studie zijn voor 1984 2.000 en voor 1985 1.600 niet-gerioleerde i.e.'s aangehouden. Per i.e. is voor de P- en N-vracht die het oppervlaktewater bereikt, de in bijlage 8.1. bepaalde waarde aangehouden namelijk 1,1 g Tot-P/i.e./dag en 30 g Tot-N/i.e./dag.

Volgens een enquête in het Lunterse beekgebied komt bij 22% van de agrarische bedrijven spoelwater van melkapparatuur in het oppervlaktewater terecht met een gemiddelde hoeveelheid van 50 m3/jaar en een gemiddelde samenstelling van 80 mg Tot-P/l en 20 mg Tot-N/l (Lit. 16). Het totaal aantal agrarische bedrijven in het Hierdense beekgebied is door middel van een globale telling bepaald en bedraagt ongeveer 300.

In het stroomgebied wordt geen effluent van r.w.z.i.'s of k.g.z.i.'s op het oppervlaktewater geloosd. Verder bevindt zich één overstort in het verbeterd gescheiden stelsel van Uddel met een overstortfrequentie van gemiddeld 5 keer per jaar. Nadere gegevens ontbreken hierover, doch de aanname dat de water- en stofhoeveelheden te verwaarlozen zijn ten opzichte van de andere posten lijkt niet onrealistisch.

De neerslag op open water (10 ha) is met behulp van neerslaggegevens van het K.N.M.I. bepaald. Voor de stoffenconcentratie in het regenwater is 0,10 mg Tot-P/l en 2,5 mg Tot-N/l aangehouden (K.N.M.I.-78/80 en APPELO-82).

Met deze gegevens zijn de volgende tabellen samen te stellen.

Hierdense beek periode 1 januari 1984 - 31 december 1984 (366 dagen):

	P [kg]	%	N [kg]	%
r.w.z.i.'s	-	-	-	-
agrarische lozingen	264	3,6	66	0
overstorten	-	-	-	-
huishoudelijke lozingen	805	10,8	2.196	1,5
neerslag op open water	9	0,1	236	0,2
	<u>1.078</u>	<u>14,5</u>	<u>2.498</u>	<u>1,7</u>

Hierdense beek periode 1 januari 1985 - 1 september 1985 (243 dagen)

	P [kg]	%	N [kg]	%
r.w.z.i.'s	-	-	-	-
agrarische lozingen	264	7,6	66	0,1
overstorten	-	-	-	-
huishoudelijke lozingen	642	18,5	1.752	2,1
neerslag op open water	8	0,2	204	0,2
	<u>914</u>	<u>26,3</u>	<u>2.022</u>	<u>2,4</u>

De gemiddelde P-vracht bedraagt : 2,945 (1984) en 2,504 (1985) kg/d

De gemiddelde N-vracht bedraagt : 6,825 (1984) en 5,540 (1985) kg/d

De percentages zijn ten opzichte van de totale beekafvoer gegeven.

Bijlage 7.4

Bepaling van de grondwaterafvoerkomponent (Qg), de afvoer van de niet-gerioleerde bebouwing en de afvoer vanuit de landbouw in de Hierdense beek

Afvoer van de niet-gerioleerde bebouwing en vanuit de landbouw:

1. niet gerioleerde bebouwing	$2.000 \times 0,155 = 310$	$1.600 \times 0,155 = 248$
2. agrarische lozingen	$0,22 \times 300 \times 50/366 = 9$	$0,22 \times 300 \times 50/366 = 9$
3. veestapel (10,6 gve/ha)	105	105
4. afvoer naar k.g.z.i.	<u>- 35</u>	<u>- 35</u>
	390	328

- Volgens W.K.B.P. maximum uurhoeveelheid 12 l/i.e., dit is 1/12 à 1/14 van de etmaalhoeveelheid, kies 155 l/i.e./etmaal.
- Dit betreft alleen sp. water van melkapparatuur
- 10,6 gve/ha kultuurgrond (4.721 ha), totaal 10.547 gve's.
Lozing per gve 10l/etm
- Geschatte afvoer uit stroomgebied naar k.g.z.i. te Elspeet.

De gemiddelde netto kwelwaterhoeveelheid, hier de grondwaterafvoerkomponent (Qg) genaamd (= grondwaterinstroming min grondwateruitstroming), bedraagt volgens de Dienst Waterbeheer van de provincie Gelderland 1.370 à 2.740 m3/dag gekozen is voor 2.000 m3/dag. Dit is 6% van de gemiddelde beekafvoer.

Na een normale juli neerslag en een zeer droge augustus 1984 was de beekafvoer gedaald tot 2.600 m3/dag. De reservoirconstante van het diepe grondwaterreservoir jg bedraagt volgens Lit. 9 51,5 dag. Het verdampingsoverschot over de twee genoemde maanden bedroeg 117 mm, met als gemiddelde voor de twee maanden 2 mm/dag. Voor 10 ha open water zou dit 200 m3/dag zijn.

Met deze gegevens had de beekafvoer: $2.000 + 390 - 200 = 2.190$ m3/dag moeten zijn. Dit is 500 m3/dag te weinig in vergelijking met de gemeten afvoer. De afvoer van de niet-gerioleerde bebouwing en vanuit de landbouw is waarschijnlijk het minst betrouwbaar. Wanneer hiervoor 800 m3/dag wordt aangenomen komt dit redelijk overeen met de gevonden waarde voor de afvoer van de niet-gerioleerde bebouwing en de afvoer vanuit de landbouw in een hydrologisch onderzoek in het Hierdense beekgebied uit 1982 (Lit. 9), deze bedroeg 700 m3/dag.

Resumerend zijn in dit onderzoek de volgende afvoerhoeveelheden aangehouden:

grondwaterafvoerkomponent (Qg)	2.000	2.000
afvoer vanuit de landbouw	800	800
neerslagoverschot op open water	89	-27
beekafvoer (basisafvoer)	ca. <u>2.900</u> (m3/dag)	ca. <u>2.800</u> (m3/dag)

Onder de "beekafvoer" wordt hier het gedeelte van de beekafvoer verstaan, dat niet via de interflow of oppervlaktewater tot afstroming komt, in dit onderzoek basisafvoer genoemd.