

32/446(buw)  
200x

**Invloed van verschillende landinrichtingsscenario's op de bodem- en waterafvoer in het zuidelijke deel van de ruilverkaveling Groesbeek**

**BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"**  
Droevendaalsesteeg 3a  
6708 PB Wageningen

**J. Stolte  
C.J. Ritsema  
T. Li**

**Rapport 644**

518996 un

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

## REFERAAT

Stolte, J., C.J. Ritsema, T. Li. *Invloed van verschillende landinrichtingsscenario's op de bodem- en waterafvoer in het zuidelijke deel van de ruilverkaveling Groesbeek*, 1999. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 644. 54 blz. 24 fig.; 8 tab.; 10 ref.

Dit onderzoek heeft tot doel aan te geven hoe het zuidelijke hellinggebied van de ruilverkaveling Groesbeek kan worden ingericht om water- en bodemafstroming zoveel mogelijk te beperken. Er is gerekend met het bodem- en waterafvoermodeel LISEM voor vijf landinrichtingsscenario's. Bij drie van de vier knelpunten (Klein America, St. Jansberg, Grafwegen) is de overlast gedeeltelijk terug te dringen door invoering van een van de voorgestelde scenario's. Bij het knelpunt kassen is het landgebruik al dusdanig (gras) dat voorgestelde scenario's geen effect laten zien. Om de overlast volledig terug te dringen zijn voor alle knelpunten aanvullende maatregelen nodig in de vorm van aanleg van retentiebekkens en/of afvoersloten, of de introductie van aanvullende beheersmaatregelen.

Trefwoorden: bodemerosie, landinrichting, ruilverkaveling, LISEM

ISSN 0927-4499

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

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

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

Projectnummer 85034

[Rapport 644/HM/03-99]

## **Inhoud**

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Gebiedsbeschrijving	11
3 LISEM model	15
4 Scenariobeschrijving	17
4.1 Scenario's	17
4.1.1 Scenario 1	17
4.1.2 Scenario 2	18
4.1.3 Scenario 3	18
4.1.4 Scenario 4	19
4.1.5 Scenario 5	19
4.2 Neerslaginvoer	19
5 Metingen en meetresultaten	21
5.1 Inleiding	21
5.2 Neerslag	21
5.3 Afvoer 22	
5.4 Bodemfysische metingen	24
5.5 Gewas- en bodemoppervlakte metingen	25
6 Kalibratie en validatie	27
6.1 Kalibratie	28
6.2 Validatie	28
7 Scenarioresultaten	31
7.1 Studiegebied	31
7.2 Knelpunten analyse	34
7.2.1 Klein America	34
7.2.2 Kassen	35
7.2.3 St. Jansberg	38
7.2.4 Grafwegen	41
8 Discussie en conclusie	43
8.1 Discussie	43
8.2 Conclusies	43
Literatuur	45

## ***Aanhangsels***

1 Overzicht landinrichting ten behoeve van de landgebruikscenario's voor bepaling van de bodem- en waterafvoer in het zuidelijke deel van de ruilverkaveling Groesbeek.	47
---	----

2	Bemonsteringlocaties ten behoeve van bepalingen van bodemfysische eigenschappen en textuur.	49
3	Berekende resultaten van bodem- en waterafvoer voor vier stroomgebieden in het zuidelijke hellingsgebied van de ruilverkaveling Groesbeek	51

## Samenvatting

DLO-Staring Centrum heeft in opdracht van de Dienst Landelijk Gebied en gefinancierd door de provincie Gelderland, gemeente Groesbeek en het polderdistrict Groot Maas en Waal onderzoek verricht naar effecten van landgebruiksscenario's op de bodem- en waterafstroming. Dit onderzoek heeft tot doel aan te geven hoe het zuidelijke hellinggebied kan worden ingericht om water- en bodemafstroming zoveel mogelijk te beperken. Het onderzoek bestond uit een viertal activiteiten: (i) het meten van water- en sedimentafvoer in een van de substroomgebieden; (ii) het verzamelen van bodem- en gewassenmerken in het studiegebied; (iii) kalibreren van het bodem-water model op gemeten afvoer; (iv) berekenen van water- en sedimentafvoer voor verschillende landgebruiken.

Er is gerekend met het bodem- en waterafvoer model LISEM. LISEM simuleert de hydrologie en het sedimenttransport gedurende en direct na een regenbui in een stroomgebied.

Landinrichtingsscenario's zijn vergeleken met het huidig landgebruik (scenario 1). In scenario 2 werd een teelttechnische maatregel beoordeeld (wintergewas) met een beperking van de perceelslengte, met in 3 een toevoeging van natuurontwikkeling zoals dat staat beschreven in het landinrichtingsplan. In scenario 4 werden daarbovenop extra groenstroken aangelegd parallel aan de hoogtelijnen om deze bij 5 uit te breiden met grasbanen in de droogdalen.

Voor het hele studiegebied is de totale afvoer in de winterperiode met de voorgestelde landinrichtingsscenario's maximaal (introductie scenario 5) te verminderen met 15 – 40% bij respectievelijk een laag- en hoogfrequente bui. De totale bodemverplaatsing neemt daarbij af met 33 – 61% en de piekafvoer met 20 – 53%. Voor de zomerperiode is een maximale afname in de waterafvoer te bereiken van 6 – 18%, voor de bodemverplaatsing van 16 – 21%, en voor de piekafvoer 13% – 25% bij respectievelijk een laag- en hoogfrequente bui.

Bij drie van de vier knelpunten (Klein America, St. Jansberg, Grafwegen) is de overlast gedeeltelijk terug te dringen door invoering van een van de voorgestelde scenario's. Voor het knelpunt St. Jansberg levert scenario 5 een bijna 100% reductie in bodemafvoer. Ook voor Klein America is scenario 5 een goed alternatief om de hoeveelheid bodemafvoer terug te dringen. Het effect van scenario 5 t.o.v. scenario 4 voor Grafwegen is minder groot. Scenario 2 levert in de winterperiode een aanzienlijke reductie van de waterafvoer op bij alle drie de knelpunten. In de zomerperiode is de reductie voor de waterafvoer het hoogst bij scenario 5, maar de verschillen met scenario 4 zijn niet zo groot.

Bij het knelpunt kassen is het landgebruik al dusdanig (gras) dat voorgestelde scenario's geen effect laten zien.

Om de overlast volledig terug te dringen zijn voor alle knelpunten aanvullende maatregelen nodig in de vorm van aanleg van retentiebekkens en/of afvoersloten, of de introductie van aanvullende beheersmaatregelen.

## 1 Inleiding

Oppervlakkige afstroming kan soms veelvuldig optreden in hellende gebieden. De mate van overlast is o.a. door landgebruik te beïnvloeden. In het zuidelijke deel van de ruilverkaveling Groesbeek wordt geregeld overlast ondervonden van water- en sedimentafvoer. Deze overlast bestaat uit: onderlopen van straten en tuinen met water en sediment; verstopt raken van riolering; wegspoelen van zaaigoed; opbrengstreductie in sedimentatieplekken; wegspoelen van vruchtbare grond.

DLO-Staring Centrum heeft in opdracht van de Dienst Landelijk Gebied en gefinancierd door de provincie Gelderland, gemeente Groesbeek en het polderdistrict Groot Maas en Waal onderzoek verricht naar effecten van landgebruiksscenario's op de bodem- en waterafstroming. Dit onderzoek heeft tot doel aan te geven hoe het zuidelijke hellinggebied kan worden ingericht om water- en bodemafstroming zoveel mogelijk te beperken. Het onderzoek bestond uit een viertal activiteiten: (i) het meten van water- en sedimentafvoer in een van de substroomgebieden; (ii) het verzamelen van bodem- en gewassenmerken in het studiegebied; (iii) kalibreren van het bodem-water model op gemeten afvoer; (iv) berekenen van water- en sedimentafvoer voor verschillende landgebruiken. Voor de berekening wordt gebruik gemaakt van het bodem-watererosie model LISEM (De Roo et al., 1996a, De Roo et al., 1996b).

Op stroomgebiedsniveau is een aantal opties voorhanden om de bodem- en waterafvoer te beperken. Ten eerste is er de mogelijkheid om via teeltmaatregelen afstroming te beperken. Voorbeelden daarvan worden o.a. gegeven door Papy en Boiffin (1989), die van verschillende gewasrotaties in stroomgebieden de afvoer berekenen. Zij concluderen o.a. dat bij afname van het aandeel wintergewas in de gewasrotatie het risico van geconcentreerde afvoer toeneemt. Ten tweede kan er in het landgebruik worden ingegrepen door belemmeringen voor het watertransport aan te brengen in de vorm van contourstroken (vaak gras). Voorbeelden hiervan worden o.a. beschreven door Olana (1997) en Van Dijk et al. (1996). Beide studies concluderen dat grasstroken effectief zijn om het sediment gehalte in de afvoer terug te dringen. Van Dijk et al., vinden in hun experimenten een daling van 60 – 90% van het sediment gehalte bij een grasstrook van 4-5 m breed. Een verbreding van de strook heeft een relatief gering effect op de terugdringing van de sediment afvoer. Als laatste is het mogelijk om door middel van kunstwerken (waterbuffers, terrassen, e.d.) de afvoer te beperken.

In Limburg is in de jaren 1991 – 1994 een 'erosienormeringsonderzoek' (de Roo, et. al, 1995) uitgevoerd, waarin een 17-tal scenario's zijn doorgerekend voor drie stroomgebieden. De scenario's waren onderverdeeld in vijf groepen: landgebruik in 1990; landgebruik volgens landbouwschapsverordening; beheersmaatregelen (gebruik van groenbemesters, mulch-zaai etc.); inrichtingsmaatregelen (grasbanen, groenstroken etc.); combinatie van de laatste twee. Uit de berekeningen blijkt o.a. dat door het invoeren van de landbouwschapsverordening in de wintertijd een reductie van de waterafvoer van 60% in de winterperiode haalbaar is. Voor de zomerperiode blijkt het erg moeilijk om de hoeveelheid waterafvoer bij extreme buien te reduceren.

Bij de regelmatig terugkerende buien is een afvoerreductie van 50% voor water wel te bereiken, met name bij gebruik van mulch- en directzaai. Mulchzaaien is het inzaaien van een gewas na een ondiepe grondbewerking (b.v. rotorkoep) in de gewasresten van een wintergewas en directzaai is het rechtsreeks inzaaien in de resten van een wintergewas. Het bodemverlies is in de zomer terug te dringen door beheersmaatregelen door te voeren, met name de introductie van mulch- en directzaai. Een nog verdere reductie is te bereiken door de aanleg van grasbanen en groenstroken.

In de volgende twee hoofdstukken wordt een beschrijving van het studiegebied in Groesbeek en het gebruikte model gegeven, waarna in het vierde hoofdstuk de door te rekenen scenario's worden beschreven. In het vijfde hoofdstuk worden de metingen beschreven en worden enkele meetresultaten gepresenteerd. In de twee hoofdstukken daarna worden de resultaten van de kalibratie/validatie en van de scenarioanalyses gepresenteerd, waarna in het laatste hoofdstuk een discussie en enkele conclusies worden gegeven.



## 2 Gebiedsbeschrijving

Onderdeel van de ruilverkaveling Groesbeek vormt het zuidelijke hellinggebied, wat wordt begrensd door het natuurgebied "St. Jansberg" in het zuiden, Duitsland in het oosten en Grafwegen en Knapheideweg in het noorden. In dit zuidelijke hellinggebied is een zestal stroomgebieden te identificeren, die allen richting Grafwegen/Breedeweg afwateren (fig. 1). Voor deze studie worden de stroomgebieden 1 t/m 4 doorgerekend, omdat in de stroomgebieden 5 en 6 de laatste jaren geen problemen zijn geweest. Dit komt door de grootte van die twee gebieden en door het landgebruik (hoofdzakelijk gras).



*Fig. 1 Ligging en nummering van zes stroomgebieden in het zuidelijke hellinggebied van de Landinrichting Groesbeek*

Het gebied bestaat hoofdzakelijk uit leemgronden met 50 – 85% leem (lössgrond). Alleen in het noordwesten komen zandgronden voor (Leenders en Beekman, 1983). De leemgronden zijn onderverdeeld in eerdgronden en vaaggronden, waarbij de laatste maar een klein deel van het gebied beslaan en bestaan uit ooivaaggronden. De eerdgronden (tuineerd-, woudeerd- en leekeerdgronden) zijn geclassificeerd aan de hand van hun dikte van de eerdlaag, die varieert van 15 tot meer dan 50 cm. De zandgronden bestaan uit holtpodzolgronden en vorstvaaggronden.

Het landgebruik in 1998 (opname augustus) staat weergegeven in figuur 2. In totaal beslaan de vier stroomgebieden 325 ha.

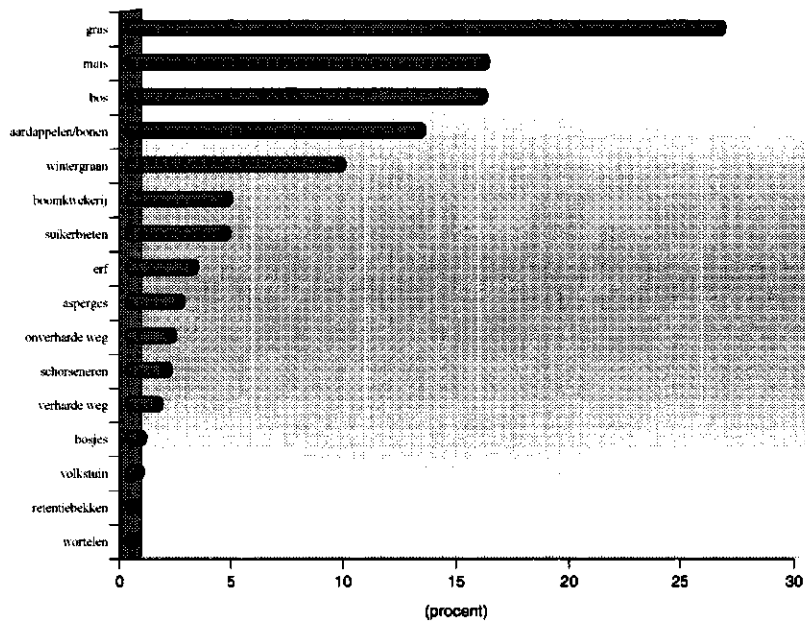
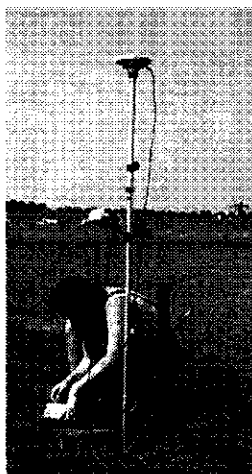


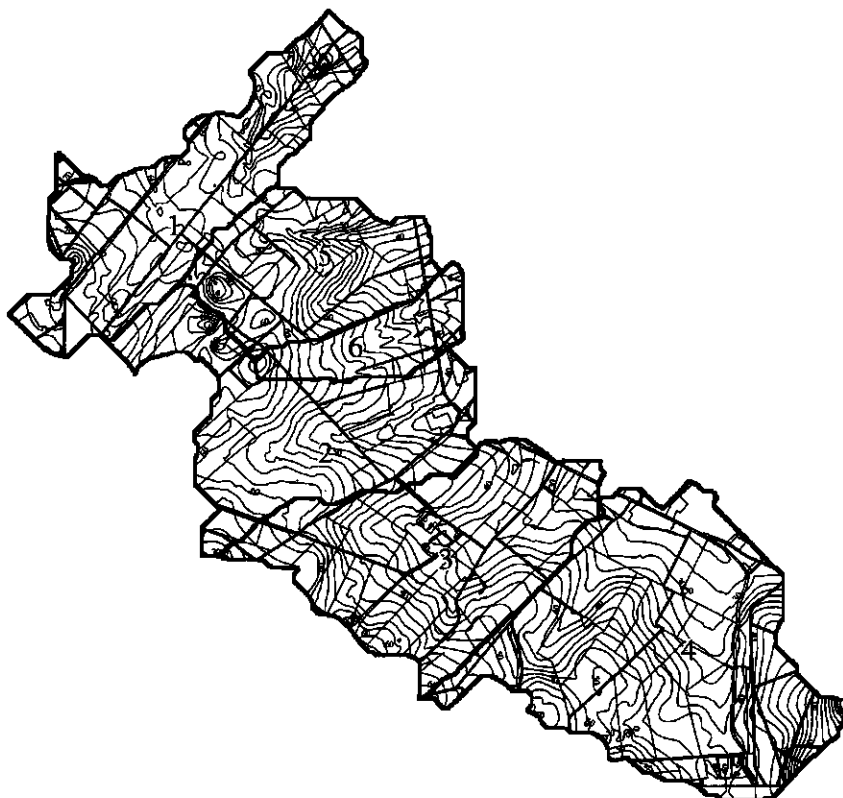
Fig. 2 Procentuele verdeling van het landgebruik voor de vier stroomgebieden in het studiegebied.

Het grasareaal is geconcentreerd in stroomgebied 2. Voor het aardappelareaal geldt dat na de oogst op een gedeelte van de percelen bonen zijn gezaaid.



Een hoogtekarta van het studiegebied is samengesteld door metingen met behulp van satellieten (Global Positioning System). Hiertoe zijn in totaal ruim 30 000 punten ingemeten in het gebied (fig. 3). Van deze punten zijn de x, y en z coördinaten gemeten. Dit heeft geresulteerd in een hoogtelijnen kaart zoals is weergegeven in figuur 4.

Fig. 3 Meten van de hoogte met behulp van satellieten



*Fig. 4 Hoogtelijnenkaart van het zuidelijke hellinggebied van de ruilverkaveling Groesbeek met de grenzen van alle stroomgebieden in het studiegebied*

### 3 LISEM model

Het Limburg Soil Erosion Model (LISEM) simuleert de hydrologie en het sediment transport gedurende en direct na een regenbui in een stroomgebied. LISEM is een fysisch-deterministisch model, waarbij de processen berekend worden gebaseerd op fysische wetmatigheden. Dit maakt het mogelijk het model in andere gebieden toe te passen dan waar het voor ontwikkeld is, zonder een verandering van het modelconcept of kalibreren van empirische parameters. Het model is ontwikkeld in de jaren 1992 – 1994 in opdracht van de provincie Limburg, met als doel een beleidsgereedschap te ontwikkelen waarmee voorspellingen gedaan kunnen worden over het effect van veranderd landgebruik op de bodem- en waterafvoer in Zuid-Limburg.

Processen die in de berekening meegenomen worden zijn neerslag, interceptie, oppervlakte berging, infiltratie, verticale bodemwater beweging, afvoer, geul stroom, loswerken door neerslag, loswerken door stroomsnelheid en transportcapaciteit van de afvoerstroom. Daarnaast zijn ook de wielsporen, wegen en verkorsting van het bodemoppervlak meegenomen in de modellering. Een overzicht van deze processen en hun interactie is weergegeven in figuur 5.

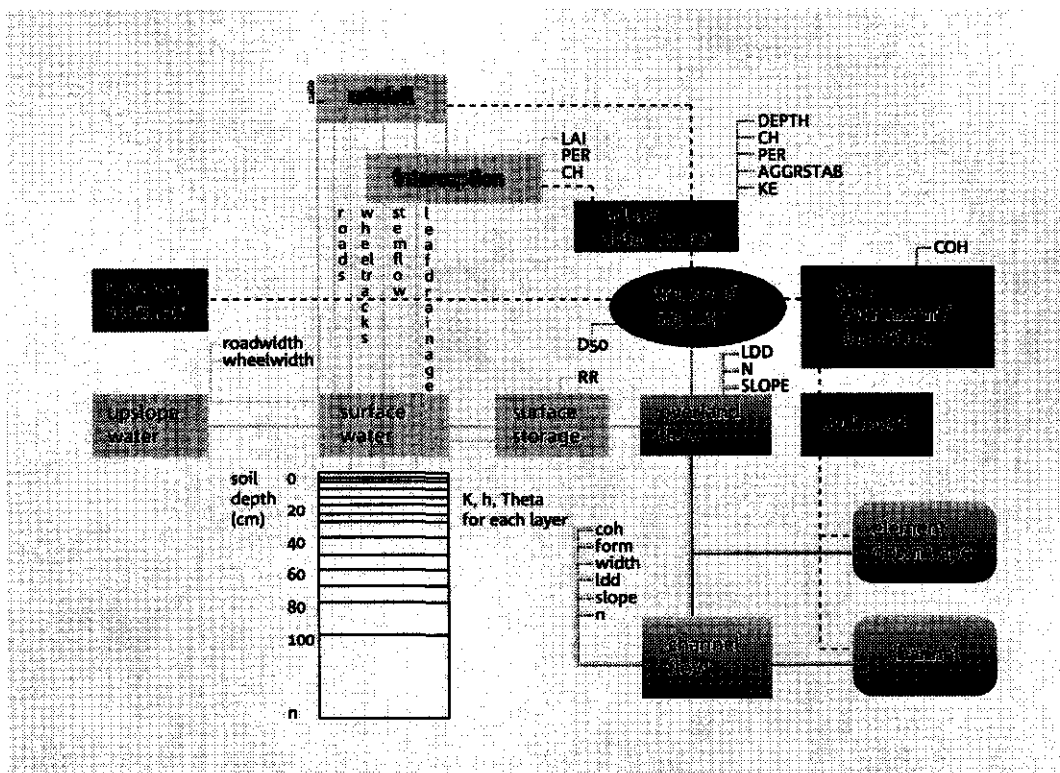


Fig. 5 Stroomschema van het boderosie- en waterafvoermodel LISEM

## 4 Scenariobeschrijving

### 4.1 Scenario's

In overleg met de opdrachtgevers is een aantal landinrichtingsscenario's vastgesteld. Uitgangspositie bij de totstandkoming van de scenario's was zo weinig mogelijk teelttechnische maatregelen toepassen om acceptatie van de voorgestelde inrichting te vergemakkelijken. Daarnaast is gebruik gemaakt van resultaten van het onderzoek, uitgevoerd in Limburg. De alternatieve scenario's worden vergeleken met het huidig landgebruik (scenario 1). In scenario 2 wordt een teelttechnische maatregel beoordeeld (wintergewas) met een beperking van de perceelslengte, met in 3 een toevoeging van natuurontwikkeling zoals dat staat beschreven in het landinrichtingsplan. In scenario 4 worden daarbovenop extra groenstroken aangelegd parallel aan de hoogtelijnen om deze bij 5 uit te breiden met grasbanen in de droogdalen. In tabel 1 staan de scenario's omschreven. In aanhangsel 1 is een kaart gepresenteerd met de plaats van de landinrichtingselementen voor de verschillende scenario's.

*Tabel 1 Toegepaste scenario-omschrijving*

Scenario	Omschrijving
1	Huidig landgebruik
2	Groenbemester in het najaar; perceelslengte beperken tot 400 m bij akkerpercelen
3	Idem als 2 + natuurontwikkeling volgens landinrichtingsplan
4	Idem als 3 + om de 200 m groenstroken parallel aan de hoogtelijnen waarbij de groenstroken zoveel mogelijk op de perceelgrenzen worden gelegd
5	Idem als 4 + grasbanen in de droogdalen

#### 4.1.1 Scenario 1

Scenario 1 is het huidig landgebruik. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat op het akkerland geen najaarsgrondbewerking is toegepast en geen groenbemester geteeld, en dat er parallel aan de hoogtelijnen geploegd wordt. Een ruimtelijk overzicht van het huidig landgebruik staat gegeven in figuur 6.

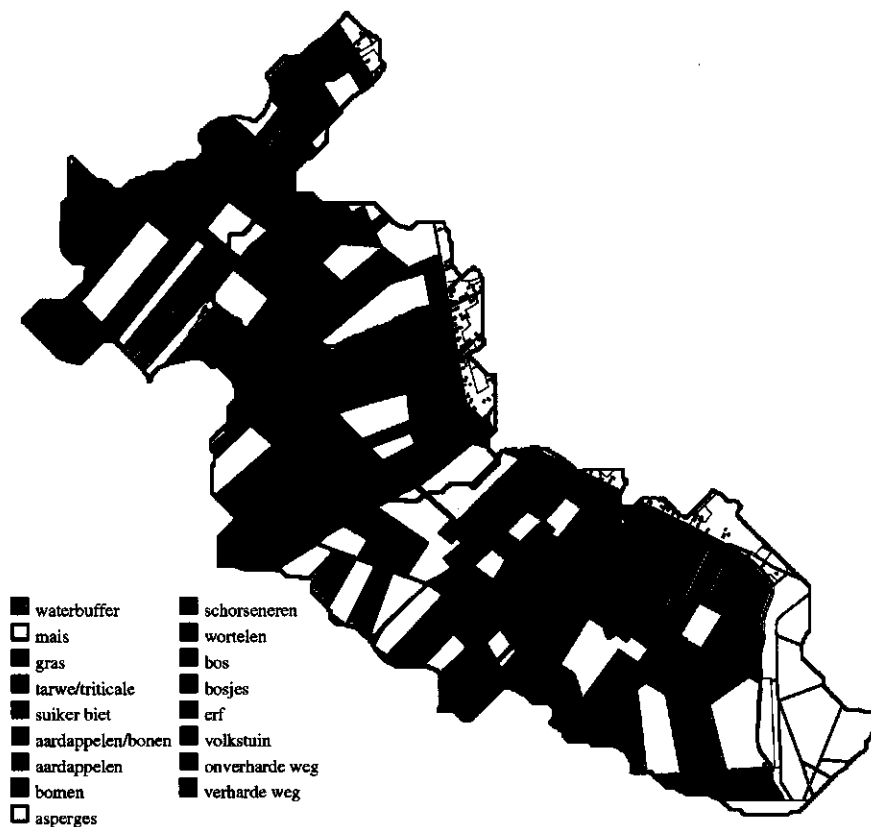


Fig. 6 Actueel landgebruik van het studiegebied in de zomer 1998

#### 4.1.2 Scenario 2

In dit scenario wordt op het akkerland in het najaar een groenbemester ingezaaid. Voor de karakteristieken van de groenbemester worden de karakteristieken van gele mosterd genomen. Verder wordt de perceelslengte beperkt tot 400 meter. Dit is alleen gedaan voor de akkerpercelen. In het studiegebied was het om deze reden noodzakelijk slechts één perceel in tweeën te splitsen (Aanhangsel 1). Het gaat hierbij om 500 m<sup>2</sup>.

#### 4.1.3 Scenario 3

Scenario 3 is een uitbereiding van scenario 2, waarbij de in het ruilverkavelingsplan voorgestelde aanleg voor natuurontwikkelingen (Ruilverkaveling Groesbeek, 1993) in het landgebruik is meegenomen. Dit blijkt 1,6 % van het totale oppervlak (50625 m<sup>2</sup>) te zijn (Aanhangsel 1).

#### **4.1.4 Scenario 4**

Scenario 4 is hetzelfde als scenario 3, met de toevoeging dat in principe om de 200 meter, parallel met de hoogtelijnen een groenstrook van 5 meter breed wordt aangelegd. Omdat dit voor de agrarische bedrijfsvoering een te grote belemmering is, is ervoor gekozen om de groenstroken zoveel mogelijk langs bestaande akkerland grenzen te leggen. In totaal gaat het om 0.8% van het oppervlak (26525 m<sup>2</sup>) dat als groenstrook gaat fungeren (Aanhangsel 1).

#### **4.1.5 Scenario 5**

Voor scenario 5 geldt hetzelfde als voor scenario 4, waarbij in de droogdalen grasbanen van 10 meter breed worden aangelegd. Een droogdal is in dit geval de plaats waar al het water zich verzamelt en een maximale stroomsnelheid krijgt. Dat is het gebied waar het meeste sediment losgespoeld wordt. Van grasbanen is een dubbel effect te verwachten: ten eerste wordt er minder grond losgespoeld en ten tweede hebben de banen een filterende werking. De positie van de grasbanen is vastgesteld naar aanleiding van simulatie resultaten van scenario 4 (Aanhangsel 1). Omdat de grasbaan in stroomgebied 2 een perceel maïs dusdanig doorkruist dat er geen bewerkbare percelen meer overbleven, is hier het perceelsgebruik veranderd in gras. Bij stroomgebied 4 komt de hoofdstroom over een aardappelperceel net voor het uitstroompunt. Op dit perceel spreidt het water zich uit, waardoor het moeilijk te voorspellen is waar de grasbaan moet komen te liggen. Ook hier is in scenario 5 het perceelgebruik veranderd in gras. In totaal beslaan de grasbanen 0,4% van het totaal oppervlak (11585 m<sup>2</sup>) en de percelen 0.7% (22235 m<sup>2</sup>).

### **4.2 Neerslaginvoer**

Er worden vier standaardbuien gebruikt om de scenario's te testen op hun effectiviteit. Dat zijn standaardbuien voor een winter- en zomerperiode met twee herhalingstijden: eenmaal per twee jaar en eenmaal per vijftwintig jaar. De standaardbuien zijn gebaseerd op neerslaggegevens van een 30 jaar reeks (Heidemij, 1988). Voor de zomerbuien zijn dat buien met een duur van 20 min. en een totale neerslag van 13 en 24 mm met maximale piekintensiteiten van 81,6 en 141,6 mm/h. De winterbuien hebben een duur van 60 min. met een totale neerslag van 10 en 16 mm en maximale intensiteit van 26 en 41,2 mm/h. Dit is weergegeven in figuur 7.

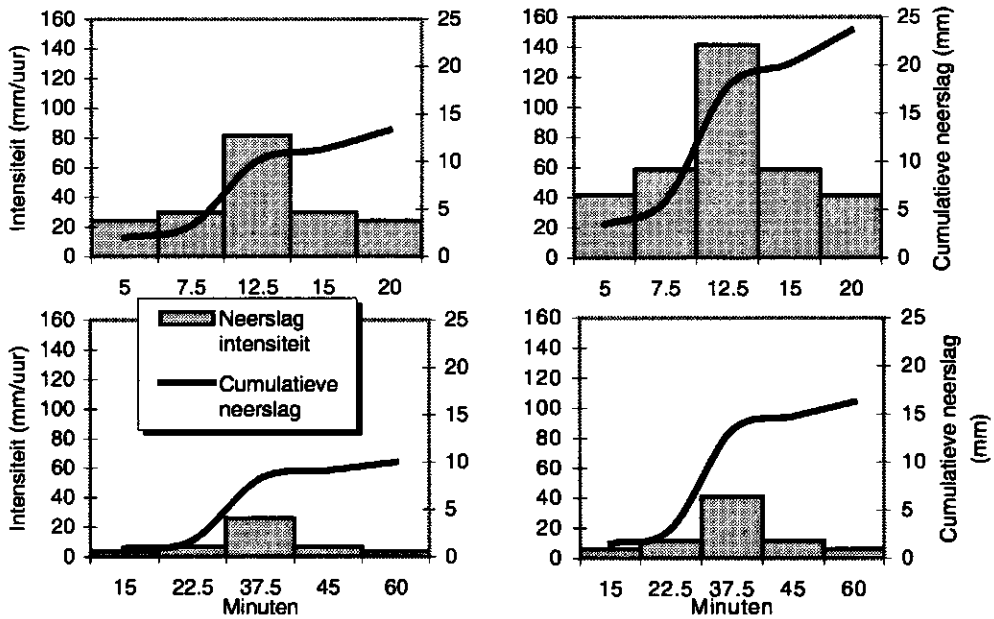


Fig. 7 Karakteristieken van gebruikte buien voor scenario analyse. A is zombui met 2 jaar herhalingstijd, B zombui met 25 jaar herhalingstijd, C winterbui met 2 jaar herhalingstijd, D winterbui met 25 jaar herhalingstijd.



## 5 Metingen en meetresultaten

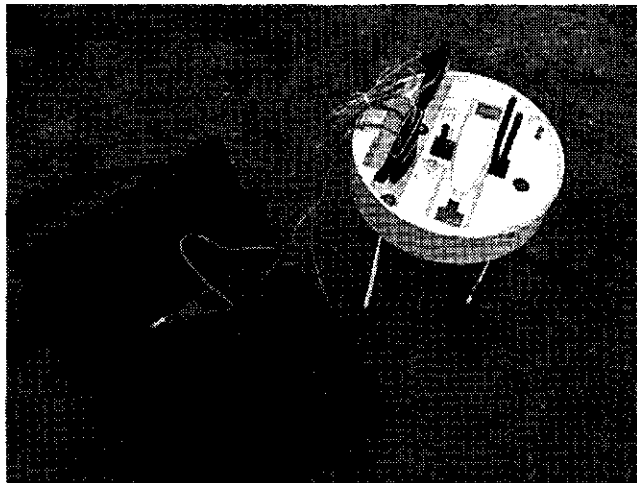
### 5.1 Inleiding

Het LISEM model vraagt invoergegevens van een scala aan grond- en gewaskarakteristieken. Gedeeltelijk zijn deze gegevens in het studiegebied opgenomen. Er is met name aandacht geschonken aan de bodemfysische karakteristieken van het bodemoppervlak, omdat dat een gevoelige parameter voor modeluitkomsten is. Daarnaast is ook een aantal gewassenmerken opgenomen, als gewashoogte en bladdichtheid (LAI). Voor kenmerken die niet bepaald zijn, zijn data gebruikt die in Limburg zijn opgenomen ten tijde van de ontwikkeling van het model.

Voor de kalibratie van het model zijn metingen van water- en sedimentafvoer gedaan in stroomgebied 1.

### 5.2 Neerslag

De neerslag is gemeten met een regenmeter die in stroomgebied 1 stond opgesteld. De regenmeter meet de neerslag in intervallen van 0,2 mm. Resultaten werden opgeslagen in een datalogger (fig. 8).



*Fig. 8 Verzamelen van data uit de datalogger in de regenmeter.*

De regenmeter is op 17 juli geplaatst. Een overzicht van de neerslag vanaf die datum tot en met 2 november is te zien in figuur 9.

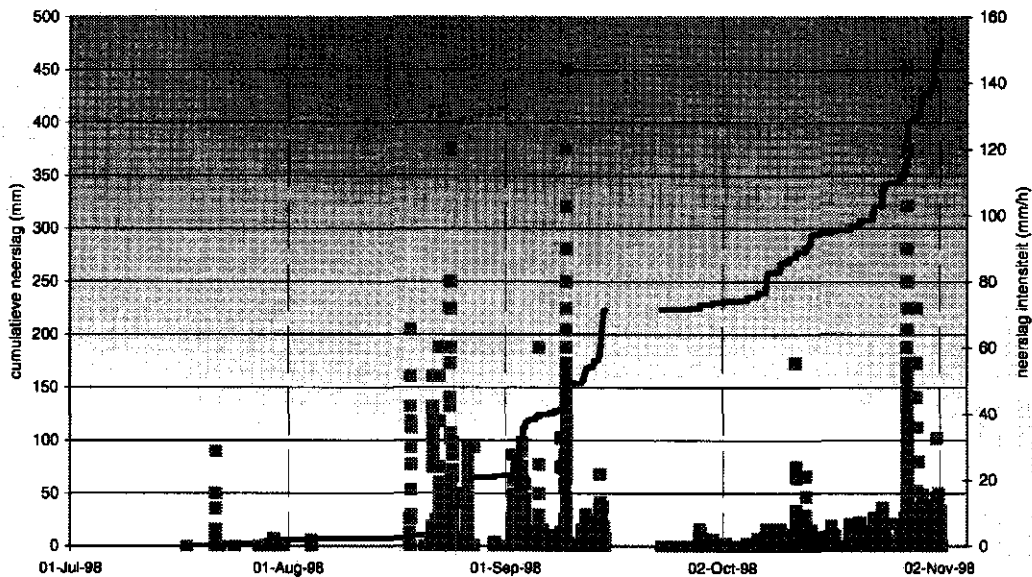


Fig. 9 Resultaten neerslag metingen studiegebied Groesbeek. De blokjes zijn gemeten intensiteiten (mm/h), de lijn is cumulatieve neerslag (mm)

Uit figuur 9 blijkt dat 1998 een nat jaar is, alleen al gedurende de meetperiode (4 maanden) is al bijna 500 mm neerslag gevallen. In een korte periode in september is een storing aan de apparatuur opgetreden, waardoor van deze periode geen neerslaggegevens beschikbaar zijn. In september en oktober hebben twee buien plaatsgevonden met een hoge neerslag intensiteit (140 mm/h).

### 5.3 Afvoer

De afvoer is gemeten met behulp van een zogenaamde V-notch dam (fig. 10).

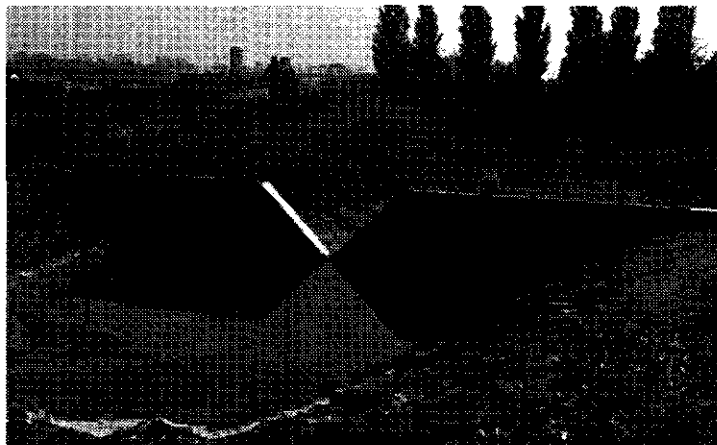


Fig. 10 Dam voor water- en sedimentafvoer metingen in het eerste stroomgebied

Afvoer is gemeten met behulp van een drukopnemer die de waterhoogte meet, wat werd vastgelegd in een datalogger. Sedimentmonsters werden genomen wanneer

meer dan 2 m<sup>3</sup> water de dam gepasseerd had. Deze monsters werden automatisch genomen met behulp van een sampler (fig. 11). Er konden per gebeurtenis maximaal 24 monsters worden genomen.

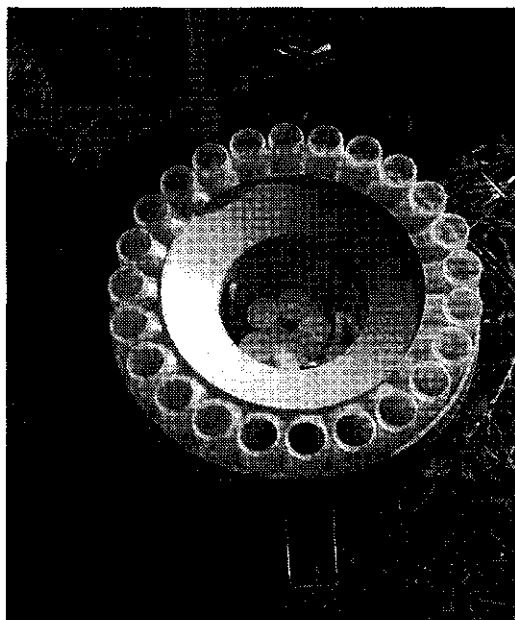


Fig. 11 Automatische bemonstering voor sedimentgehalte bepaling

Een voorbeeld van het resultaat van de metingen is te zien in figuur 12. Hier zijn de gemeten afvoer, het sedimentgehalte en de neerslag intensiteit weergegeven.

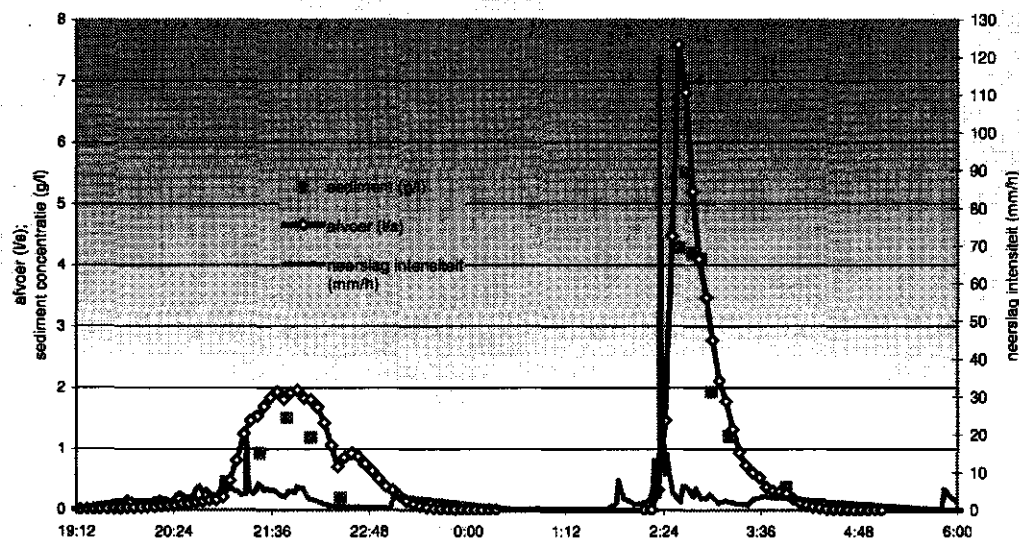


Fig. 12 Overzicht metingen neerslag, afvoer en sediment concentratie in de nacht van 23-24 augustus 1998

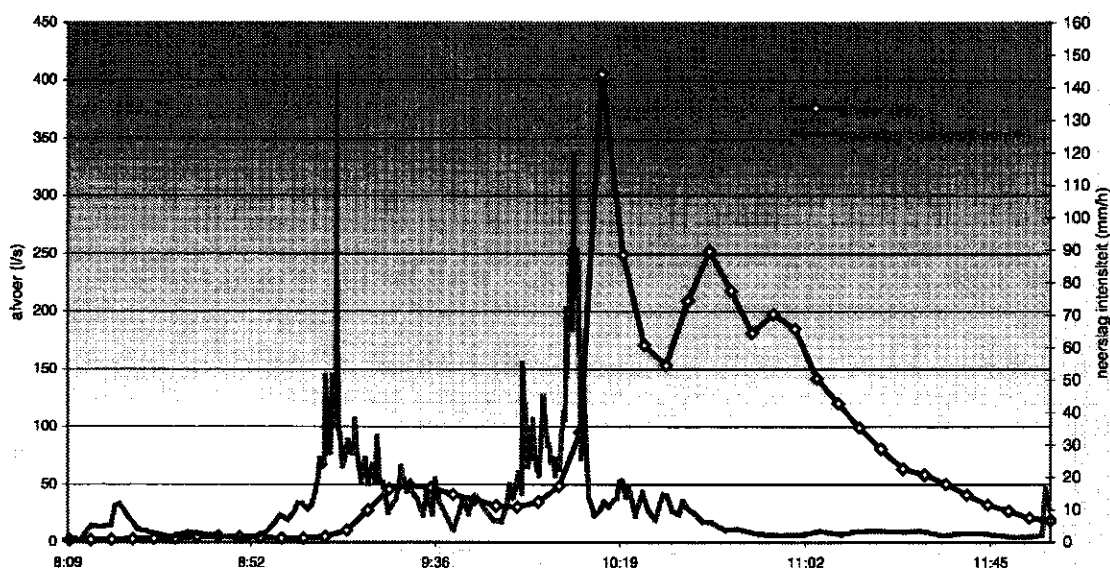


Fig. 13 Overzicht metingen neerslag en afvoer in de ochtend van 28 oktober 1998

Ondanks de hoge intensiteit in neerslag is er tijdens deze periode een geringe afvoer (max. 7,5 l/s). Dat is te verklaren door de relatief geringe totale hoeveelheid neerslag die er gevallen is, en door de conditie van het land ten tijde van de neerslag gebeurtenis. In augustus stonden vrijwel alle gewassen nog op het land, waardoor de mogelijkheid van infiltratie het grootst is (lage stroomsnelheid van het water wat over het oppervlak stroomt). Een ander voorbeeld is te zien in figuur 13. Hier is de gemeten afvoer en neerslag te zien gedurende de ochtend van 28 oktober. In totaal is er in deze periode 37 mm neerslag gevallen. Wat hier opvalt is de hoge afvoer (tot 400 l/s) direct na de tweede neerslag piek. De eerste neerslag piek heeft kennelijk een volledige verzadiging van de bovengrond veroorzaakt, waardoor verdere neerslag vrijwel direct oppervlakkig afgevoerd wordt. Er zijn geen gemeten sediment concentraties van deze gebeurtenis beschikbaar omdat alle monsterflesjes al vol waren toen de bui begon door de langdurige regenval in de dagen voor 28 oktober. Wel is een schatting gemaakt van de hoeveelheid sediment door de sedimentatie achter de dam (stroomafwaarts) te meten. Achter de dam is een retentiebekken waar afgevoerd water in opgevangen wordt. Het meegevoerde sediment wordt hierin afgezet. Voor de bui lag er nog nagenoeg geen sediment in het bekken, waardoor de gemeten hoeveelheid een goede schatting geeft over de hoeveelheid sediment die in deze periode is meegevoerd. Er bleek ongeveer een gebied van  $20 * 30 * 0.1$  m ( $60 \text{ m}^3$ ) sediment afgezet te zijn. Voor de dam lag ook een hoeveelheid sediment, maar dit was al voor een groot deel door eerdere afvoer gebeurtenissen afgezet.

#### 5.4 Bodemfysische metingen

Voor een goede berekening van de infiltratie in de bodem is het noodzakelijk om de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek van de verschillende bodemlagen te meten. Hiertoe worden monsters gestoken in het veld, waarvan in het laboratorium met behulp van de constant-head methode en de verdampingsmethode (Stolte, 1997)

de verzadigde waterdoorlatendheid resp. de waterretentie en onverzadigde waterdoorlatendheid worden bepaald (fig. 14).



Fig. 14 Bepaling van de waterretentie- en onverzadigde doorlatendheidskarakteristiek met behulp van de verdampingmethode.

In totaal zijn er van 39 monsters de verzadigde doorlatendheid en van 34 monsters de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek bepaald. Een overzicht hiervan is te zien in Li (1998). Daarnaast is de textuur van de monsters bepaald (tabel 2). Een overzicht van de bemonsteringslocaties is gegeven in Aanhangsel 2.

Tabel 2 Textuur van de monsterlocaties

Locatie*	Diepte (cm - mv)	Organische stof (g/100 g d.s.)	% van de minerale delen						
			< 2 $\mu$ m	2 - 16 $\mu$ m	16 - 50 $\mu$ m	50 - 105 $\mu$ m	105 - 210 $\mu$ m	> 210 $\mu$ m	
1	0 - 8	2,2	4,4	4,9	29,2	5,9	12,5	43,1	
2	0 - 8	3,3	6,0	7,1	50,2	9,5	8,8	18,4	
3	0 - 8	2,1	3,1	2,9	15,3	2,6	12,8	63,3	
4	0 - 8	2,1	3,6	3,8	18,6	6,2	12,0	55,8	
5	0 - 8	2,2	6,3	6,9	49,6	3,9	9,6	22,7	
6	0 - 8	3,2	7,6	10,7	67,5	7,3	3,3	3,6	
	12 - 20	2,4	7,0	9,6	55,6	5,2	5,0	17,6	
	50 - 58	0,8	5,4	8,3	44,3	8,6	6,4	27,0	
7	0 - 8	3,3	7,5	10,9	63,8	10,5	3,0	3,3	
8	0 - 8	2,0	7,8	0,0	64,5	7,4	3,3	7,0	
	45 - 53	0,9	12,2	10,6	64,9	3,5	2,7	6,1	

\* zie aanhangsel 2

## 5.5 Gewas- en bodemoppervlakte metingen

Van de verschillende gewassen is gedurende het groeiseizoen de hoogte gemeten, en van een aantal gewassen is ook de Leaf Area Index bepaald. Daarnaast zijn monsters genomen om de structuurstabiliteit te meten en is een opname voor de bodemruwheid gemaakt. Resultaten van deze opnamen zijn te vinden in Li (1998) waar alle invoer gegevens voor de runs met het model nauwgezet samengevat zijn. Een gedeelte van

deze gegevens zijn afkomstig uit de dataset die ten tijde van het ontwikkelen van het model in Limburg is gemaakt.

## 6 Kalibratie en validatie

### 6.1 Kalibratie

Om betrouwbare kwantitatieve uitspraken te kunnen doen is het noodzakelijk om uitkomsten van berekeningen te toetsen aan gemeten gegevens, en zonodig modelvariabelen aan te passen. Omdat het doel van het onderzoek zich richt op het zoveel mogelijk beperken van water- en sedimentoverlast, is het model op een grote afvoer gebeurtenis gecalibreerd. Hiervoor is de bui van de ochtend van 28 oktober (fig. 13) geschikt. Er is gedurende de meetperiode nog een grote bui geweest (9 september) maar van die bui zijn door een storing geen metingen beschikbaar. De bui van 28 oktober heeft een hoge afvoer gegenereerd, en er zijn voldoende meetgegevens beschikbaar om een kalibratie te kunnen uitvoeren. Er is gecalibreerd op het initieel watergehalte van het bodemprofiel op moment van starten van de bui. Resultaat van de kalibratie is te zien in figuur 15.

De neerslag intensiteit gedurende deze periode is te zien in figuur 13. Uit figuur 15 blijkt dat de berekende resultaten de afvoer afvlakken, waar de gemeten afvoer wat meer heterogeniteit in piekafvoer laat zien. De berekende totale afvoer is  $1071 \text{ m}^3$  en de gemeten totale afvoer is  $1046 \text{ m}^3$ . De berekende piekafvoer ligt iets lager dan de gemeten, en de piektijd is nagenoeg gelijk. De meegevoerde hoeveelheid sediment is geschat op  $60 \text{ m}^3$  (zie §5.3). Er is een totale sediment afvoer van ongeveer 86,5 ton ( $1290 \text{ kg/ha}$ ) berekend, wat voor zand met een dichtheid van  $1500 \text{ kg/m}^3$  ongeveer  $58 \text{ m}^3$  betekent. De gemeten en berekende water- en sedimentafvoeren zijn vrijwel identiek, waarmee het model in voldoende mate is gecalibreerd.

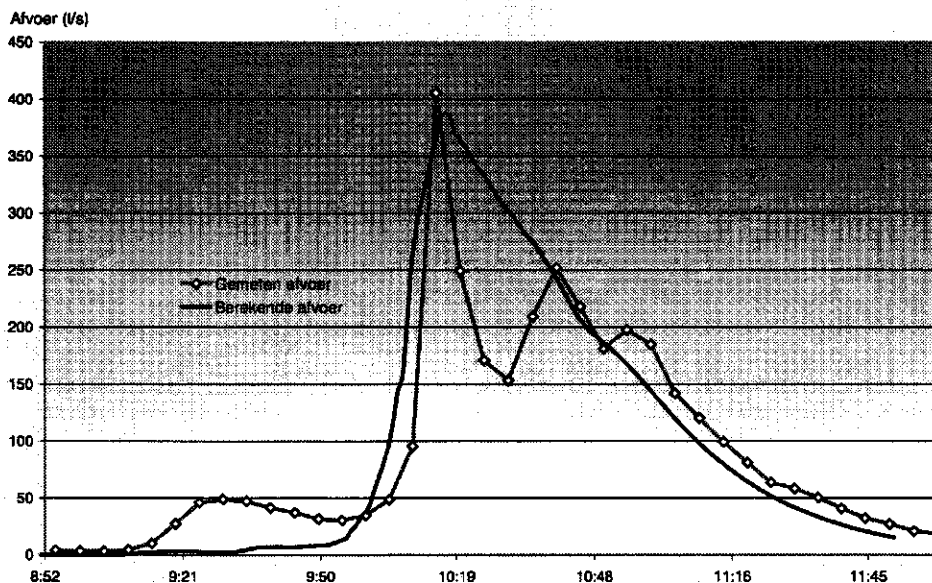


Fig. 15 Gemeten en berekende afvoer van een regenbui op 28 oktober 1998 voor stroomgebied 1

## 6.2 Validatie

Om te toetsen of het model ook voor andere buien betrouwbare resultaten berekent, is nog een tweede bui doorgerekend. Er zijn geen goede data gemeten van andere grote buien dan de 28 oktober bui, waardoor voor validatie een aanzienlijk kleinere bui is gebruikt. Hiervoor is de bui van 24 augustus genomen (fig. 16).

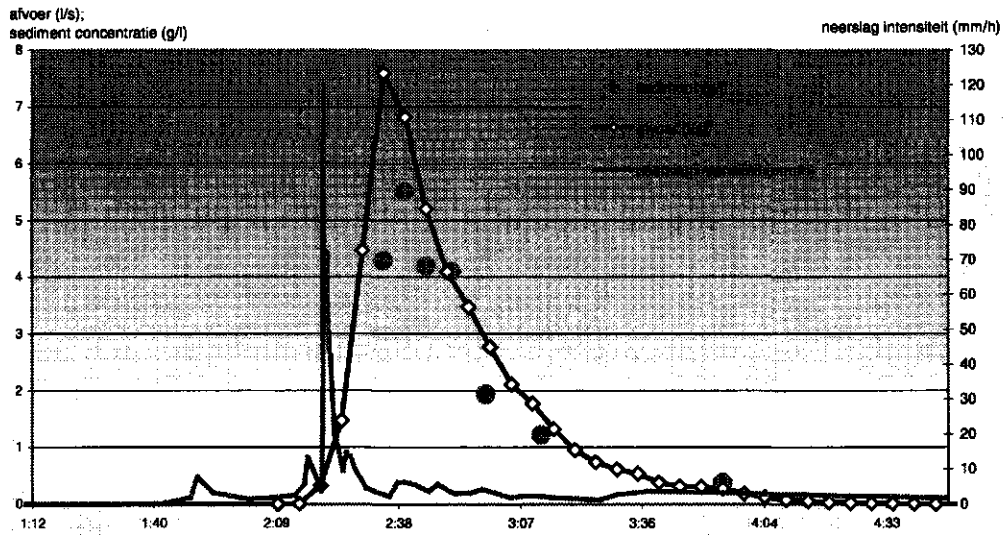


Fig. 16 Gemeten neerslag intensiteit, afvoer en sediment concentratie van een regenbui op 24 augustus 1998 voor stroomgebied 1

Uit figuur 16 blijkt dat de bui van 24 augustus behoorlijk kleiner is dan de bui van 28 oktober. De maximale gemeten afvoer is bijna 7,5 l/s, waar bij de bui van 28 oktober een afvoer van ruim 400 l/s is gemeten. In totaal is er tot 3.30 uur 8.2 mm neerslag gevallen. De berekende afvoer staat weergegeven in figuur 17.

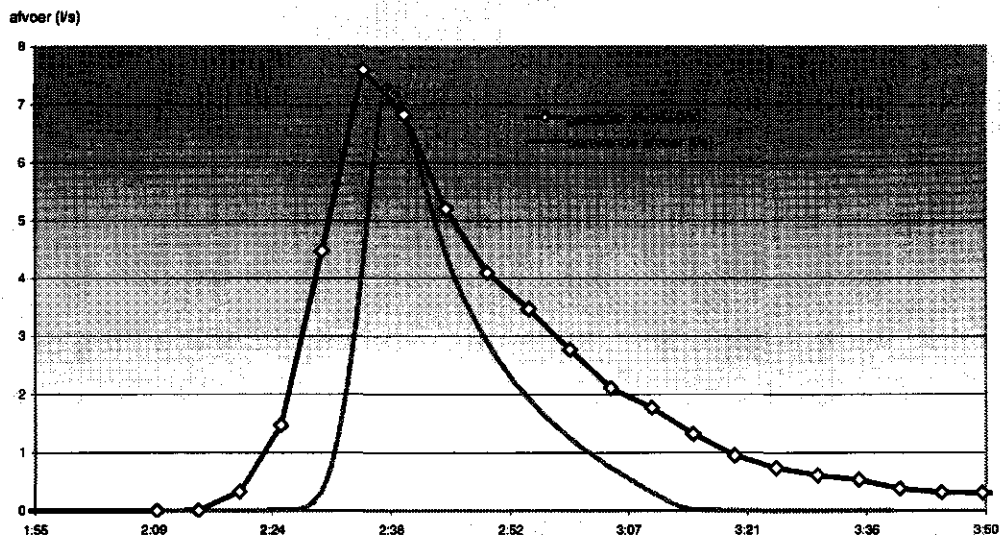


Fig. 17 Berekende en gemeten afvoer van een bui op 24 augustus 1998 voor stroomgebied 1



In totaal is er ruim 13 m<sup>3</sup> afvoer berekend en ruim 17,5 m<sup>3</sup> gemeten. Hier moet bij worden opgemerkt dat de meetnauwkeurigheid afneemt bij lagere afvoeren. De hoeveelheid gemeten sediment is 2,5 ton, en berekend is er nagenoeg niets. De gemeten hoeveelheid is vermoedelijk voor een belangrijk deel afkomstig van de weg en het aanvoerkanaal naar de meetgoot. Dat is te zien doordat het materiaal hoofdzakelijk uit humusarm zand bestaat. De berekende en gemeten piekafvoer zijn nagenoeg gelijk (7,33 l/s berekend en 7,60 l/s gemeten). Geconcludeerd kan worden dat bij een kleine bui de totale afvoer en de sediment concentratie iets worden onderschat, waarbij rekening moet worden gehouden dat de metingen onnauwkeuriger worden en dat het gemeten sediment afkomstig kan zijn uit het aanvoerkanaal naar de meetgoot (en niet van de landbouwpercelen). De piekafvoer wordt ook bij kleine buien goed berekend.

## 7 Scenarioresultaten

### 7.1 Studiegebied

De cumulatieve resultaten van de scenarioanalyses voor de vier stroomgebieden staan in tabel 3. In Aanhangsel 3 staan de resultaten per stroomgebied weergegeven.

Tabel 3 Cumulatieve resultaten van vier stroomgebieden in het zuidelijke hellingsgebied van de ruilverkaveling Groesbeek voor berekende bodem- en waterafvoer als gevolg van verschillend landgebruik.

Zomer	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Afvoer totaal [m <sup>3</sup> ]	1168,3	12580,1	1168,0	12579,7	1105,0	12274,7	1013,9	12007,3	950,6	11807,8
Afvoer (%)	100	100	100	100	94,6	97,6	86,6	95,4	81,4	93,9
Piekafvoer (gem.) [l/s]	141,2	967,3	141,2	967,2	140,2	913,9	126,2	879,8	105,6	836,8
Piekafvoer (%)	100	100	100	100	99,3	94,5	89,4	91	74,8	86,5
Bodemverplaatsing totaal [ton]	235,0	1897,0	235,0	1896,9	207,4	1801,7	193,1	1762,5	184,9	1586,5
Bodemverplaatsing (%)	100	100	100	100	88,2	95,0	82,2	92,9	78,7	83,6
Bodemverlies totaal * [kg/ha]	183,8	2143,0	183,8	2143,0	171,5	2100,4	133,6	1999,4	97,6	1912,7
Bodemverlies (%)	100	100	100	100	93,3	98,0	72,6	93,3	53,1	89,3
Winter	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Afvoer totaal [m <sup>3</sup> ]	4409,0	16501,3	2722,2	14232,6	2716,2	14141,3	2667,3	14007,5	2587,6	13729,6
Afvoer (%)	100	100	61,7	86,3	61,6	85,7	60,5	84,9	58,7	83,2
Piekafvoer (gem.) [l/s]	316,1	1097,6	174,8	931,6	167,9	932,1	161,0	915,8	149,3	883,0
Piekafvoer (%)	100	100	55,3	86,7	53,1	84,9	50,9	83,4	47,3	80,4
Bodemverplaatsing totaal [ton]	493,1	1991,7	236,5	1593,3	229,8	1549,9	224,4	1537,4	224,4	1325,0
Bodemverplaatsing (%)	100	100	48,0	80,0	46,6	77,8	45,5	77,2	38,5	66,5
Bodemverlies totaal * [kg/ha]	98,9	795,1	37,6	565,9	37,3	561,4	28,7	537,4	22,0	326,4
Bodemverlies (%)	100	100	38,0	71,2	37,7	70,6	29,1	67,6	22,2	41,0

\* alleen berekend bodemverlies van stroomgebied 1, van de andere stroomgebieden wordt volgens berekening alle verplaatste grond in het gebied zelf weer afgezet.

In de zomerperiode zijn de verschillen tussen de scenario's 2 t/m 5 en 1 niet zo groot, maar zijn er verschillen tussen de alternatieve scenario's onderling. In de winterperiode zijn de verschillen tussen scenario 1 en de alternatieve scenario's wel groot, maar zijn de onderlinge verschillen tussen de alternatieve scenario's niet zo groot.

Voor de zomerperiode blijkt scenario 2 geen effect te hebben op terugdringing van de overlast, en scenario 3 een effect van 2% – 5% reductie van de afvoer en 5% – 12% reductie van de bodemverplaatsing. Bij een hoog frequente bui is de afname in afvoer bijna 13% (155 m<sup>3</sup>) en voor de laag frequente bui 5% (572 m<sup>3</sup>) bij vergelijking van scenario 1 en 4. De piekafvoer loopt bij die vergelijking voor hoog frequente buien met 11% terug voor laag frequente buien met 10%. De bodemverplaatsing neemt met 18% (42 ton) en 7% (135 ton) af bij resp. hoog en laag frequente buien. Introductie

van grasbanen (scenario 5) vermindert de totale afvoer in vergelijking met scenario 1 met ruim 18% en 6%, de piekafvoer met 25% en 13% en de bodemverplaatsing met 21% en 16% voor hoog resp. laag frequente buien. In figuur 18 is een en ander weergegeven.

In de winterperiode is een afname mogelijk van de hoeveelheid oppervlakkige afstroming met bijna 40% (1686 m<sup>3</sup>) bij een hoog frequente bui en 14% (2279 m<sup>3</sup>) bij een laag frequente bui, wanneer een wintergewas geteeld wordt (scenario 2). De totale bodemverplaatsing bij scenario 2 neemt met 48% af bij hoog frequente buien en 20% met laag frequente buien. Dit neemt toe tot bijna 55% reductie af bij een hoog frequente bui en bijna 22% bij een laagfrequente bui bij invoering van scenario 4 (grasstroken). Voor de piekafvoer is de afname voor een laag- en hoog frequente bui resp. 16% en 49% bij scenario 4. Wanneer ook nog grasbanen worden aangelegd (scenario 5) loopt de totale hoeveelheid afvoer met enkele procenten terug. Met name de bodemverplaatsing wordt behoorlijk gereduceerd door de invoering van grasbanen.

De gekozen scenario's hebben een duidelijk effect in de winterperiode in vergelijking met het huidig landgebruik. De totale afvoer kan met enige tientallen procenten worden teruggedrongen, evenals de piekafvoer en totale bodemverplaatsing. Introductie van het landinrichtingsplan heeft met name in de zomerperiode een effect van 5 – 10%, waarbij introductie van grasstroken nog eens een zelfde effect laat zien. Grasbanen hebben met name een positief effect op de terugdringing van de bodemverplaatsing, en dus op de overlast door modderstromen. Ook de piekafvoer wordt door scenario 5 aanzienlijk teruggedrongen, wat positieve consequenties kan hebben voor het ontwerp van kunstwerken ter voorkoming van overlast. Maatregelen hebben procentueel een groter effect bij de hoogfrequente buien.

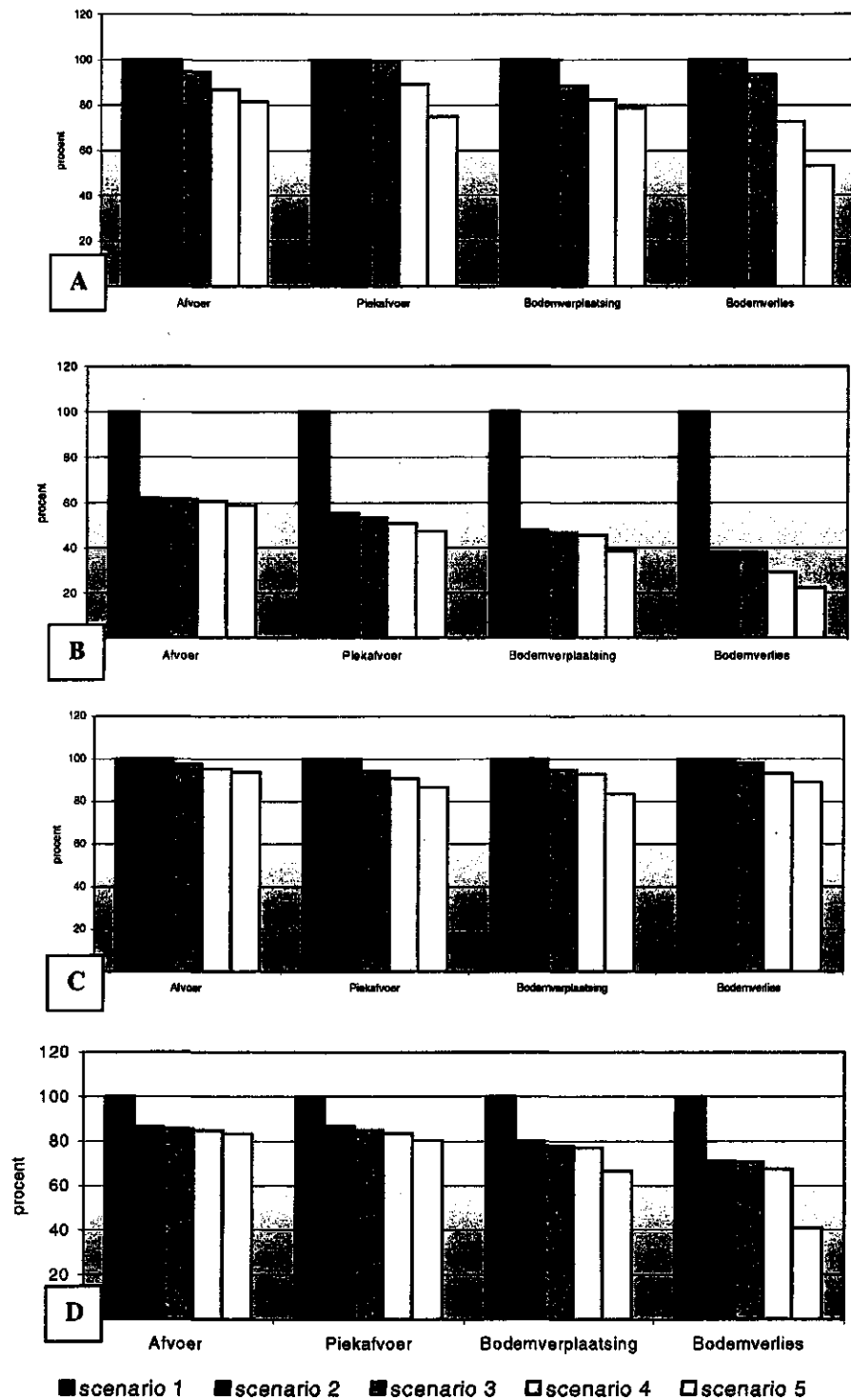


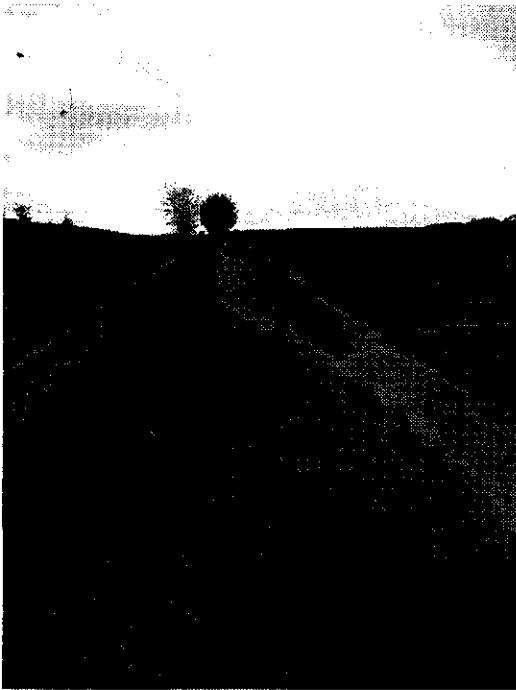
Fig. 18 Procentuele afvoerresultaten van berekeningen met verschillende landgebruikscenario's. Het bodemverlies is resultaat van stroomgebied 1, de piekafvoer is gemiddelde van vier stroomgebieden, en de afvoer en bodemverplaatsing zijn totalen van vier stroomgebieden. A is 2 jaars bui zomerperiode, B 2 jaars bui winterperiode, C 25 jaars bui zomerperiode, D 25 jaars bui winterperiode.

## 7.2 Knelpunten analyse

Er is in het studiegebied een aantal knelpunten, waar een geregelde overlast van water- en sedimentafvoer optreedt. In stroomgebied 1 (Klein America) is deze overlast vrijwel volledig weggenomen door de aanleg van een retentiebekken. In stroomgebied 2 komt het water samen op een plek waar een tuinder percelen met groente en kassen heeft staan. In stroomgebied 3 is een knelpunt bij de St. Jansberg. Daar wordt geregeld hinder ondervonden van modderstromen over het erf. Een ander knelpunt is Grafwegen. Hier wateren stroomgebieden 3 en 4 op af, waardoor de riolering het in extreme situaties niet meer kan verwerken. Deze knelpunten ('Klein America', 'kassen', 'St. Jansberg', 'Grafwegen') worden met behulp van de resultaten geanalyseerd.

### 7.2.1 Klein America

De problemen in Klein America (stroomgebied 1, fig. 19) zijn voor het grootste deel weggenomen door de aanleg van een retentiebekken.



*Fig. 19 Stroomgebied 1 (Klein America)*

Toch is te overwegen om in het gebied landgebruiksmatregelen te nemen, om de mate van onderhoud aan het bekken te minimaliseren. De sedimentlast moet dan beperkt worden. In tabel 4 staan de berekende resultaten van de verschillende scenario's vermeld.

Tabel 4 Resultaten van stroomgebied 1 (Klein America) voor berekende bodem- en waterafvoer als gevolg van verschillend landgebruik.

Zomer	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Afvoer [m <sup>3</sup> ]	199,0	1844,7	199,0	1844,7	187,4	1808,1	159,5	1714,1	145,6	1692,7
[%]	100	100	100	100	94,2	98,0	80,2	93,0	73,2	91,8
Piekafvoer [l/s]	169,1	741,7	169,1	741,7	165,4	737,3	140,3	680,8	132,7	590,2
[%]	100	100	100	100	97,8	99,4	83,0	91,8	78,5	79,6
Bodemverlies [ton]	12,3	143,7	12,3	143,7	11,5	140,8	9,0	134,1	6,5	128,3
[%]	100	100	100	100	93,5	98,0	73,2	93,3	52,8	89,3
Winter	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Afvoer [m <sup>3</sup> ]	143,6	889,9	67,3	644,5	66,8	639,5	55,0	617,6	49,8	617,5
[%]	100	100	46,9	72,4	46,5	71,9	38,3	69,4	34,7	69,4
Piekafvoer [l/s]	70,4	450,6	40,9	325,8	40,9	325,8	30,6	292,9	24,7	266,2
[%]	100	100	58,1	72,3	58,1	72,3	43,5	65,0	35,1	59,1
Bodemverlies [ton]	6,6	53,3	2,5	37,9	2,5	37,6	1,9	36,0	1,5	21,9
[%]	100	100	37,9	71,1	37,9	70,5	28,8	67,5	22,7	41,1

Uit tabel 4 blijkt dat in de zomerperiode een geleidelijk toename in reductie van de afvoer zit bij toenemende intensivering van de maatregelen. Scenario 2 heeft geen effect, 3 een effect van 2 – 6%, 4 van 7 – 20% en 5 van 8 – 27% bij resp. een hoog en laag frequente bui. In de winterperiode blijkt dat scenario 2 het grootste effect in afvoer reductie oplevert, 53% bij een laag frequente en 28% bij een hoog frequent bui. Deze percentages lopen nog iets op bij verdere intensivering van de maatregelen.

Het bodemverlies in de zomerperiode vermindert met 27% voor een hoog frequente bui en met 7% voor een laag frequente bui in vergelijking tussen scenario 1 en 4. In de winterperiode is dit 61% en 35%. Scenario 5 vergroot de reductie van het bodemverlies met nog eens 28% en 4% voor de hoog resp. laag frequente buien in de zomerperiode en met 21% en 39% voor de hoog resp. laag frequente buien in de winterperiode.

In het knelpunt Klein America kan door introductie van grasstroken en grasbanen de hoeveelheid sediment aanzienlijk teruggedrongen worden. Overwogen moet worden of de investering voor de aanleg en onderhoud van deze stroken opweegt tegen de reductie in het onderhoud van het retentiebekken.

## 7.2.2 Kassen

In stroomgebied 2 heeft nagenoeg op het uitstroompunt een tuinder een kassencomplex (fig. 20) Dit heeft tot gevolg dat alle afvoer zich concentreert op en rond zijn erf.

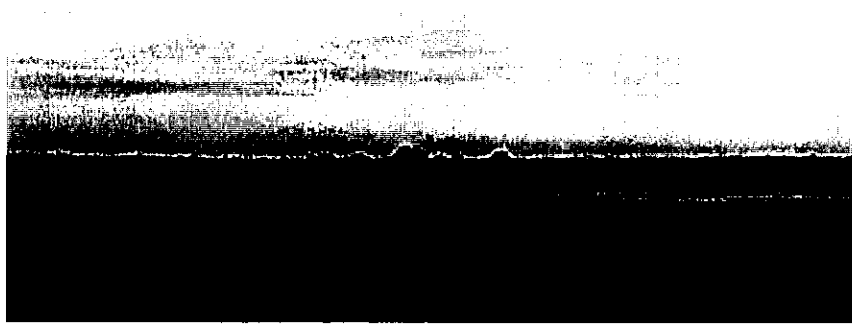


Fig. 20 Uitstroompunt van stroomgebied 2 met een kassencomplex.

In de figuren 21 en 22 zijn de berekende waterstroming en erosie/sedimentatie gebieden als resultaat van een laag frequente winterbui te zien bij het huidige grondgebruik.



Fig. 21 Afvoerpatroon van water in stroomgebied 2 na 50 minuten van een winterbui met een herhalingsperiode van 25 jaar bij huidig grondgebruik (afvoer in l/s).



*Fig. 22 Sedimentatie en erosie plaatsen in stroomgebied 2 na een winterbui met een herhalingsperiode van 25 jaar bij huidig grondgebruik.*

Uit figuur 21 blijkt duidelijk dat het water zich concentreert op het erf van een tuinder. Uit figuur 22 wordt duidelijk dat de meeste erosie ontstaat op akkergronden, en de sedimentatie op grasland. Verder is uit de figuur ook duidelijk dat er een grote hoeveelheid grond wordt afgezet op en rondom het erf van de tuinder (modder). In tabel 5 staan de resultaten van de afvoer berekeningen voor de verschillende landinrichtingsscenario's.



Tabel 5 Resultaten van stroomgebied 2 voor berekende bodem- en waterafvoer als gevolg van verschillend landgebruik.

Zomer	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Afvoer [m <sup>3</sup> ]	149,6	3217,8	149,6	3217,8	151,3	3241,4	148,5	3215,5	143,7	3174,2
[%]	100	100	100	100	101,1	100,7	99,3	99,9	96,1	98,6
Piekafvoer [l/s]	72,1	786,8	72,1	786,8	70,7	796,7	70,7	796,7	70,3	780,6
[%]	100	100	100	100	98,1	101,2	98,1	101,2	97,5	99,2
Bodemverplaatsing [ton]	48,1	488,6	48,1	488,6	48,3	489,7	45,5	489,8	45,1	487,7
[%]	100	100	100	100	100,4	100,2	94,6	100,2	93,8	99,8
Winter	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Afvoer [m <sup>3</sup> ]	1074,2	4382,8	799,3	3992,6	796,5	3987,5	796,3	3980,5	803,6	3980,3
[%]	100	100	74,4	91,1	74,1	91,0	74,1	90,8	74,8	90,8
Piekafvoer [l/s]	239,1	906,6	177,2	857,3	177,0	857,5	177,0	857,4	173,8	841,5
[%]	100	100	74,1	94,6	74,0	94,6	74,0	94,6	72,7	92,8
Bodemverplaatsing [ton]	134,5	503,7	62,1	379,2	62,0	378,9	61,7	378,6	64,9	380,8
[%]	100	100	46,2	75,3	46,1	75,2	45,9	75,2	48,3	75,6

Uit tabel 5 blijkt dat de hoeveelheid verplaatste grond in vergelijking met het totaal van het gebied klein is, wat wordt veroorzaakt doordat het stroomgebied voor een groot deel uit grasland bestaat. De bodemverplaatsing en waterafvoer in de winterperiode nemen met ongeveer 30 – 50% af bij scenario 2 in vergelijking met scenario 1. De scenario's 3, 4 en 5 dragen vrijwel niet bij tot vermindering van de waterafvoer en bodemverplaatsing in de winterperiode. In de zomerperiode is er geen verschil tussen de scenario's.

Doordat het grondgebruik in het gebied vanuit wateroverlast gezien al redelijk ideaal is, is het noodzakelijk om kunstwerken aan te leggen om de overlast bij dit knelpunt terug te dringen. De meest voor de hand liggende oplossing daarvoor is een retentiebekken. De beste plaats van dit bekken is in de stroomgeul net voor of op het erf van de tuinder. Ook kan worden gekozen voor de aanleg van twee kleinere bekkens, een op of voor het erf van de tuinder en een verder stroomopwaarts.

### 7.2.3 St. Jansberg

Vanaf de Kiekberg loopt een geconcentreerde waterstroom in de richting van St. Jansberg. Met name de woningen en bedrijven die aan St. Jansberg staan, hebben geregelde last van modderstromen over hun erf (fig. 23).



*Fig. 23 Afvoergeul vanaf de Kiekberg naar St. Jansberg*

In tabel 6 staan de resultaten van de berekeningen van water- en sedimentafvoer bij de verschillende scenario's op het punt waar de foto van figuur 23 is genomen.

Tabel 6 Resultaten van St. Jansberg voor berekende bodem- en waterafvoer als gevolg van verschillend landgebruik.

Zomer	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Waterafvoer [m <sup>3</sup> ]	104,8	979,1	104,8	979,1	99,6	924,2	89,3	892,3	82,0	882,0
	100	100	100	100	95,0	94,4	85,2	91,1	78,2	90,1
Piekaafvoer [l/s]	172,2	808,9	172,2	808,9	166,5	771,1	127,5	684,5	100,1	655,0
	100	100	100	100	96,7	95,3	74,0	84,6	58,1	81,0
Bodemverlies [ton]	37,5	1523,6	37,5	1523,6	34,5	1540,9	26,0	1400,7	0,0	12,5
	100	100	100	100	92,0	101,1	69,3	91,9	0,0	0,0
Winter	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
	440,6	1481,5	233,1	1281,9	223,8	1269,1	217,6	1260,9	216,0	1257,0
Waterafvoer [m <sup>3</sup> ]	100	100	52,9	86,5	50,8	85,7	49,4	85,1	49,0	84,8
	238,7	875,1	88,5	686,9	73,4	620,5	66,7	583,2	66,0	588,3
Piekaafvoer [l/s]	100	100	37,0	78,5	30,7	70,9	27,9	66,6	27,6	67,2
	518,5	3208,2	102,1	1734,6	96,7	1756,7	84,3	1676,1	0,0	3,9
Bodemverlies [ton]	100	100	19,7	54,1	18,6	54,8	16,3	52,2	0,0	0,0

In de zomerperiode blijkt ook hier een geleidelijke toename in reductie van de afvoer bij intensivering van de maatregelen te zijn. De hoeveelheid afgevoerd water wordt met 5 – 6% gereduceerd te worden door invoering van scenario 3, met 9 – 15% bij scenario 4 en met 10 – 22% bij scenario 5 voor resp. een hoog en laag frequente bui. De piekaafvoer wordt met 15 – 25% gereduceerd bij invoering van scenario 4 en de grondafvoer met 10 – 30%. Invoering van grasbanen (scenario 5) heeft een spectaculair effect op de bodemafvoer in de zomer. Deze wordt verwaarloosbaar. Ook de piekaafvoer loopt behoorlijk terug.

In de winterperiode levert scenario 2 aanzienlijke winst op wat betreft reductie in grond- en waterafvoer: 15 – 40% voor de waterafvoer en 45 – 80% voor de grondafvoer. De piekaafvoer neemt met ongeveer 20 – 65% af. Scenario 4 vergroot de reductie nog eens met een extra 2 – 6% in waterafvoer, 4 – 18% in grondafvoer en 15 – 25% in piekaafvoer. Ook hier geldt dat introductie van de grasbaan (scenario 5) het bodemverlies tot nagenoeg nul reduceert.

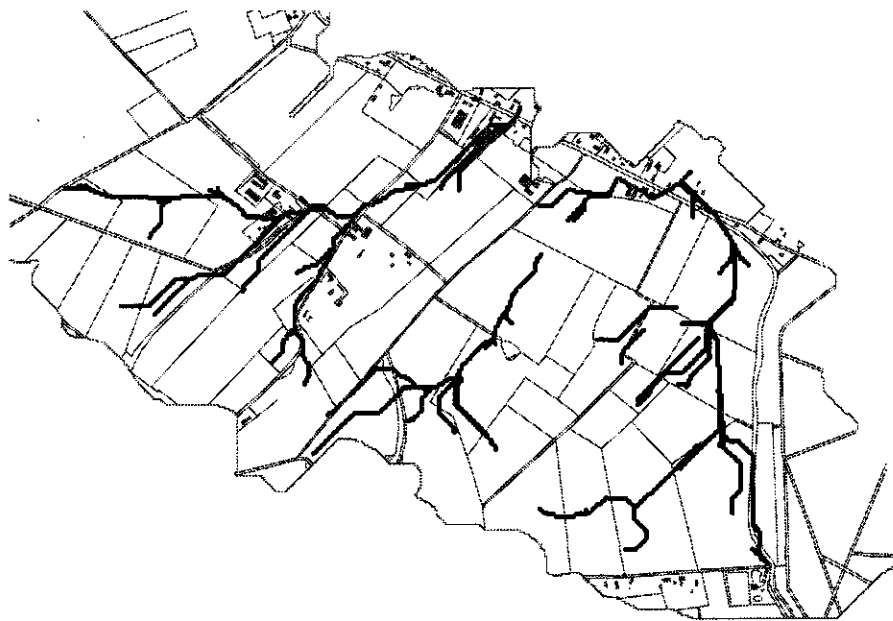
Voor dit knelpunt is scenario 4 een goede landinrichting om de problemen te beperken. In de winterperiode neemt de waterafvoer behoorlijk af. Scenario 4 draagt in de zomer weinig bij aan vermindering van de wateroverlast in vergelijking met scenario 2, maar met name de piekaafvoer neemt af. Het water wordt geleidelijker afgevoerd. Dit heeft consequenties voor de dimensionering van eventueel aan te leggen kunstwerken. Extra reductie in de bodemafvoer is te bereiken door een grasbaan aan te leggen. De bodemafvoer is dan nihil. Overwogen moet worden of de aanleg van een grasbaan dwars door een bestaand perceel opweegt tegen het effect van nagenoeg geen bodemafvoer.

Ondanks de alternatieve landinrichting blijft er toch nog een hoeveelheid water afvoeren. Dat is in dit gebied mogelijk te verwerken door of een retentiebekken net voor de tuinen van de huizen aan de St. Jansberg aan te leggen in de stroomgeul of door het omleiden van het water via greppels. Ook aan een combinatie van deze twee

valt te denken, waarbij het retentiebekken de ergste pieken opvangt en geleidelijk doorgeeft via een greppelsysteem naar het bestaande retentiebekken aan de St. Jansberg.

#### 7.2.4 Grafwegen

De stroomgebieden 3 en 4 wateren allebei af op de Grafwegen, en veroorzaken daar geregeld wateroverlast doordat de riolering de watertoevoer niet kan verwerken. De afvoerbanen zoals die op de Grafwegen uitkomen zijn te zien in figuur 24.



*Fig. 24 Afvoerbanen naar de Grafwegen.*

In tabel 7 staan de resultaten van de berekeningen voor de verschillende scenario's.

Tabel 7 Cumulatieve resultaten van stroomgebied en 3 en 4 voor berekende bodem- en waterafvoer als gevolg van verschillend landgebruik.

Zomer	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Afvoer [m <sup>3</sup> ]	819,7	7517,5	819,4	7517,2	766,3	7225,2	706,0	7077,7	661,3	6940,9
[%]	100	100	100	100	93,5	96,1	86,1	94,1	80,7	92,3
Piekafvoer (gem.) [l/s]	161,8	1170,2	161,7	1170,2	162,4	1060,9	146,9	1020,8	109,6	988,1
[%]	100	100	100	100	100,3	90,7	90,8	87,2	67,7	84,4
Bodemverplaatsing [ton]	149,6	1106,4	149,5	1106,3	124,9	1016,6	116,3	991,3	110,8	837,4
[%]	100	100	100	100	83,5	91,9	77,7	90,0	74,1	84,7
Winter	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar	2 jaar	25 jaar
Afvoer totaal [m <sup>3</sup> ]	3191,2	11228,6	1855,5	9595,4	1852,8	9514,3	1816,0	9409,5	1734,2	9131,8
[%]	100	100	58,1	85,5	58,0	84,7	56,9	83,8	54,3	81,3
Piekafvoer (gem.) [l/s]	477,5	1516,7	240,6	1311,6	226,9	1272,6	218,3	1256,4	199,9	1212,1
[%]	100	100	50,4	86,5	47,5	83,9	45,7	82,8	41,9	79,9
Bodemverplaatsing totaal [ton]	333,5	1371,3	157,2	1123,4	151,0	1082,2	147,4	1074,0	111,1	873,6
[%]	100	100	47,1	81,9	45,3	78,9	44,2	78,3	33,3	63,7

In de zomerperiode blijkt scenario 5 een reductie in afvoer van 8 – 20% op te leveren in vergelijking met het huidig landgebruik. De bodemverplaatsing wordt met 15 – 25% terug gedrongen en de piekafvoer met 15 – 32%. Scenario 4 reduceert de afvoer met 6 – 14%, de bodemafvoer met 10 – 22% en de piekafvoer met 9 – 12%. In de winterperiode blijkt dat de introductie van een wintergewas (scenario 2) met name de totale afvoer reduceert (ruim 40% bij hoog frequente buien en 15% bij laag frequente buien). Scenario 5 reduceert de piekafvoer met 20 – 58% ten opzicht van scenario 1 (met 4 – 6% t.o.v. scenario 2) en de bodemverplaatsing met 16 – 67% (14 – 18% t.o.v. scenario 2).

Ondanks de alternatieve landinrichtingsscenario's blijft ook in dit gebied een behoorlijke hoeveelheid water afstromen. Door introductie van scenario 4 en 5 wordt de piekafvoer gereduceerd. Daarnaast verlaagt scenario 5 ook de bodemverplaatsing.

Een oplossing om in dit gebied verdere problemen te voorkomen is het aanleggen van twee relatief kleine retentiebekkens, die de grootste pieken in de afvoer opvangen en het water geleidelijk doorgeven aan afvoersloten (of riool), waarbij moet worden overwogen of scenario 4 of 5 voldoende reductie in bodemverplaatsing en piekafvoer opleveren om de kosten van aanleg en onderhoud van de benedenstroomse afvoer (sloten, riool) te drukken.

## **8 Discussie en conclusie**

### **8.1 Discussie**

Uit de resultaten wordt duidelijk dat met behulp van inrichtingsmaatregelen (grasstroken, grasbanen) de hoeveelheid sedimentafvoer kan worden teruggedrongen. De afname in waterafvoer is beperkt. Een veranderend landgebruik (telen wintergewas) heeft relatief een veel grotere invloed op de waterafvoer (scenario 2). Dit is in overeenstemming met het Limburg project. Ook daar werd geconstateerd dat in de zomerperiode het effect van beheersmaatregelen een groot effect had op de reductie van de waterafvoer. Met name het gebruik van mulch- en directzaai kwam in die studie positief naar voren. Dat een vergelijkbaar effect mag worden verwacht in het hellingsgebied van Groesbeek, wordt door Li (1999) aangetoond. Hij heeft een berekening voor stroomgebied 1 uitgevoerd, waar alle akkerland is omgezet in grasland. Uit die berekening blijkt de totale afvoer en bodemverplaatsing met meer dan 90% te worden gereduceerd.

Een aanbeveling is om met de agrariërs in het gebied in gesprek te komen over het toepassen van beheersmaatregelen in de zomerperiode, die een duidelijk positief effect hebben op de reductie van water- en bodemafvoer.

### **8.2 Conclusies**

Voor het hele studiegebied is de totale afvoer in de winterperiode met de voorgestelde landinrichtingsscenario's maximaal (introductie scenario 5) te verminderen met 15 – 40% bij respectievelijk een laag- en hoogfrequente bui. De totale bodemverplaatsing neemt daarbij af met 33 – 61% en de piekafvoer met 20 – 53%. Voor de zomerperiode is een maximale afname in de waterafvoer te bereiken van 6 – 18%, voor de bodemverplaatsing van 16 – 21%, en voor de piekafvoer 13% – 25% bij respectievelijk een laag- en hoogfrequente bui.

Bij drie van de vier knelpunten (Klein America, St. Jansberg, Grafwegen) is de overlast gedeeltelijk terug te dringen door invoering van een van de voorgestelde scenario's. Voor het knelpunt St. Jansberg levert scenario 5 een bijna 100% reductie in bodemafvoer. Ook voor Klein America is scenario 5 een goed alternatief om de hoeveelheid bodemafvoer terug te dringen. Het effect van scenario 5 t.o.v. scenario 4 voor Grafwegen is minder groot. Scenario 2 levert in de winterperiode een aanzienlijke reductie van de waterafvoer op bij alle drie de knelpunten. In de zomerperiode is de reductie voor de waterafvoer het hoogst bij scenario 5, maar de verschillen met scenario 4 zijn niet zo groot.

Bij het knelpunt kassen is het landgebruik al dusdanig (gras) dat voorgestelde scenario's geen effect laten zien.

Om de overlast volledig terug te dringen zijn voor alle knelpunten aanvullende maatregelen nodig in de vorm van aanleg van retentiebekkens en/of afvoersloten, of de introductie van aanvullende beheersmaatregelen.

Het invoeren van inrichtingsmaatregelen (grasstroken, grasbanen) heeft een relatief gering effect op de waterafvoer bij met name laagfrequente buien. Van beheersmaatregelen (ander teeltsysteem) mag een groter effect worden verwacht, zoals al in scenario 2 blijkt met de invoering van een wintergewas. Stimulering van een ander teeltsysteem in de zomerperiode (b.v. mulch- of directzaai) zal dan ook een positief effect hebben op de reductie van de waterafvoer in het studiegebied.

## Literatuur

De Roo, A.P.J. (red.), P.M. van Dijk, C.J. Ritsema, N.H.D.T. Cremers, J. Stolte, K. Oostindie, R.J.E. Offermans, F.J.P.M. Kwaad en M.A. Verzandvoort. 1995. *Erosienormeringsonderzoek Zuid-Limburg*. Staring Centrum, Rapport 364.1.

De Roo, A.P.J., C.G. Wesseling and C.J. Ritsema. 1996a. *LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, Input and Output*. Hydrological Processes, vol. 10, 1107-1117.

De Roo, A.P.J., R.J.E Offermans and N.H.D.T. Cremers. 1996b. *LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. II: Sensitivity analysis, Validation and Application*. Hydrological Processes, vol. 10, 1119-1126.

Leenders, W.H. en A.G. Beekman. 1983. *De bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid van het ruilverkavelingsgebied Groesbeek*. STIBOKA, Rapport 1595.

Li, T. 1998. *Evaluation of land use systems for water and soil conservation in Groesbeek, the Netherlands, using LISEM*. MSc-thesis Wageningen Agricultural University

Olana, B.T. 1997. *Effects of width and spacing of grass strips in soil erosion control, the case of Wijnandsrade area, South-Limburg/The Netherlands*. MSc Thesis Wageningen Agricultural University.

Papy, F and J. Boiffin. 1989. The use of farming systems for the control of runoff and erosion. In: U. Schwertmann, R.J. Rickson and K. Auerswald (eds.). Soil Erosion protection measures in Europe. Soil Technology series 1.

Ruilverkaveling Groesbeek. 1993. *Landinrichtingsplan ex artikel 86 Landinrichtingswet voor de ruilverkaveling "Groesbeek" gelegen in de gemeenten Groesbeek, Mook en Middelaar en Gennep*. Ministerie van LNV, Landinrichtingsdienst.

Stolte, J. (Ed.). 1997. *Manual for soil physical measurements, version 3.0*. The Winand Staring Centre, Technical Document 37.

Van Dijk, P.M., F.J.P.M. Kwaad and M. Klapwijk. 1996. *Retention of water and sediment by grass strips*. Hydrological Processes, vol. 10, 1069-1080.



**Aanhangsel 2 Bemonsteringlocaties ten behoeve van bepalingen van bodemfysische eigenschappen en textuur.**



### Aanhangsel 3 Berekende resultaten van bodem- en waterafvoer voor vier stroomgebieden in het zuidelijke hellingsgebied van de ruilverkaveling Groesbeek

Stroomgebied 1 Stroomgebied grootte (ha) 67.055	2 jaar herhalingsjijd					25 jaar herhalingsjijd				
	Scenario									
Zomerperiode	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Neerslag (mm)	13,3					23,6				
Afvoer (mm)	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5
Afvoer/Neerslag (%)	2,2	2,2	2,1	1,8	1,6	11,7	11,7	11,4	10,8	10,7
Infiltratie (mm)	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	19,4	19,4	19,4	19,5	19,6
Afvoer (m3)	199,0	199,0	187,4	159,5	145,6	1844,7	1844,7	1808,1	1714,1	1692,7
Piekafvoer (l/s)	169,1	169,1	165,4	140,3	132,7	741,7	741,7	737,3	680,8	590,2
Piektijd (min)	19,0	19,0	20,0	13,0	13,0	24,0	24,0	24,0	24,0	25,0
Spat erosie (ton)	7,5	7,5	7,4	7,2	7,2	13,1	13,1	12,8	12,6	12,5
Stroom erosie (land) (ton)	29,8	29,8	26,9	24,1	21,7	288,8	288,8	282,7	268,8	248,9
Depositiesie (land) (ton)	-25,0	-25,0	-22,7	-22,4	-22,4	-158,2	-158,2	-154,6	-147,2	-133,2
Erosie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositiesie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totaal bodemverlies (ton)	12,3	12,3	11,5	9,0	6,5	143,7	143,7	140,8	134,1	128,3
Gemiddeld bodemverlies (kg/ha)	183,8	183,8	171,5	133,6	97,6	2143,0	2143,0	2100,4	1999,4	1912,7
<b>Winterperiode</b>										
Neerslag (mm)	10,0					16,3				
Afvoer (mm)	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	1,3	1,0	1,0	0,9	0,9
Afvoer/Neerslag (%)	2,1	1,0	1,0	0,8	0,7	8,1	5,9	5,9	5,7	5,7
Infiltratie (mm)	9,3	9,4	9,4	9,4	9,4	14,3	14,6	14,6	14,6	14,7
Afvoer (m3)	143,6	67,3	66,8	55,0	49,8	889,9	644,5	639,5	617,6	617,5
Piekafvoer (l/s)	70,4	40,9	40,9	30,6	24,7	450,6	325,8	325,8	292,9	266,2
Piektijd (min)	49,0	51,0	51,0	54,0	60,0	43,0	42,0	42,0	43,0	45,0
Spat erosie (ton)	6,7	6,7	6,5	6,4	6,3	11,5	11,4	11,1	10,9	10,9
Stroom erosie (land) (ton)	18,3	10,5	10,2	9,0	7,7	105,1	79,3	77,6	73,9	59,8
Depositiesie (land) (ton)	-18,4	-14,7	-14,2	-13,4	-12,5	-63,3	-52,7	-51,1	-48,8	-48,8
Erosie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositiesie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totaal bodemverlies (ton)	6,6	2,5	2,5	1,9	1,5	53,3	37,9	37,6	36,0	21,9
Gemiddeld bodemverlies (kg/ha)	98,9	37,6	37,3	28,7	22,0	795,1	565,9	561,4	537,4	326,4

### Aanhangsel 3, vervolg

Stroomgebied 2 Stroomgebied grootte (ha) 66.3725	2 jaar herhalingsstijd					25 jaar herhalingsstijd				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Zomerperiode</b>										
Neerslag (mm)	13,3					23,6				
Afvoer (mm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	4,8	4,8	4,9	4,8	4,8
Afvoer/Neerslag (%)	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	20,5	20,5	20,7	20,5	20,3
Infiltratie (mm)	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	17,7	17,7	17,7	17,7	17,8
Afvoer (m3)	149,6	149,6	151,3	148,5	143,7	3217,8	3217,8	3241,4	3215,5	3174,2
Piekafvoer (l/s)	72,1	72,1	70,7	70,7	70,3	786,8	786,8	796,7	796,7	780,6
Piektijd (min)	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	38,0	38,0	38,0	38,0	39,0
Spat erosie (ton)	3,6	3,6	3,5	3,5	3,5	6,6	6,6	6,5	6,5	6,5
Stroom erosie (land) (ton)	44,6	44,6	44,7	41,9	41,6	482,1	482,1	483,2	483,4	481,2
Depositie (land) (ton)	-48,1	-48,1	-48,3	-45,5	-45,1	-462,6	-462,6	-463,2	-464,7	-463,0
Erosie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-26,0	-26,0	-26,5	-25,2	-24,7
Totaal bodemverlies (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemiddeld bodemverlies (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Winterperiode</b>										
Neerslag (mm)	10,0					16,3				
Afvoer (mm)	1,6	1,2	1,2	1,2	1,2	6,6	6,0	6,0	6,0	6,0
Afvoer/Neerslag (%)	16,2	12,0	12,0	12,0	12,1	40,5	36,9	36,9	36,8	36,8
Infiltratie (mm)	7,8	8,1	8,1	8,1	8,1	8,6	9,1	9,1	9,1	9,1
Afvoer (m3)	1074,2	799,3	796,5	796,3	803,6	4382,8	3992,6	3987,5	3980,5	3980,3
Piekafvoer (l/s)	239,1	177,2	177,0	177,0	173,8	906,6	857,3	857,5	857,4	841,5
Piektijd (min)	101,0	96,0	96,0	96,0	96,0	90,0	82,0	82,0	82,0	83,0
Spat erosie (ton)	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	3,0	2,6	2,6	2,6	2,6
Stroom erosie (land) (ton)	133,0	60,7	60,7	60,3	63,5	500,7	376,5	376,3	376,0	378,1
Depositie (land) (ton)	-134,4	-62,1	-62,0	-61,7	-64,9	-497,1	-374,1	-373,9	-373,5	-375,7
Erosie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
Totaal bodemverlies (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemiddeld bodemverlies (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

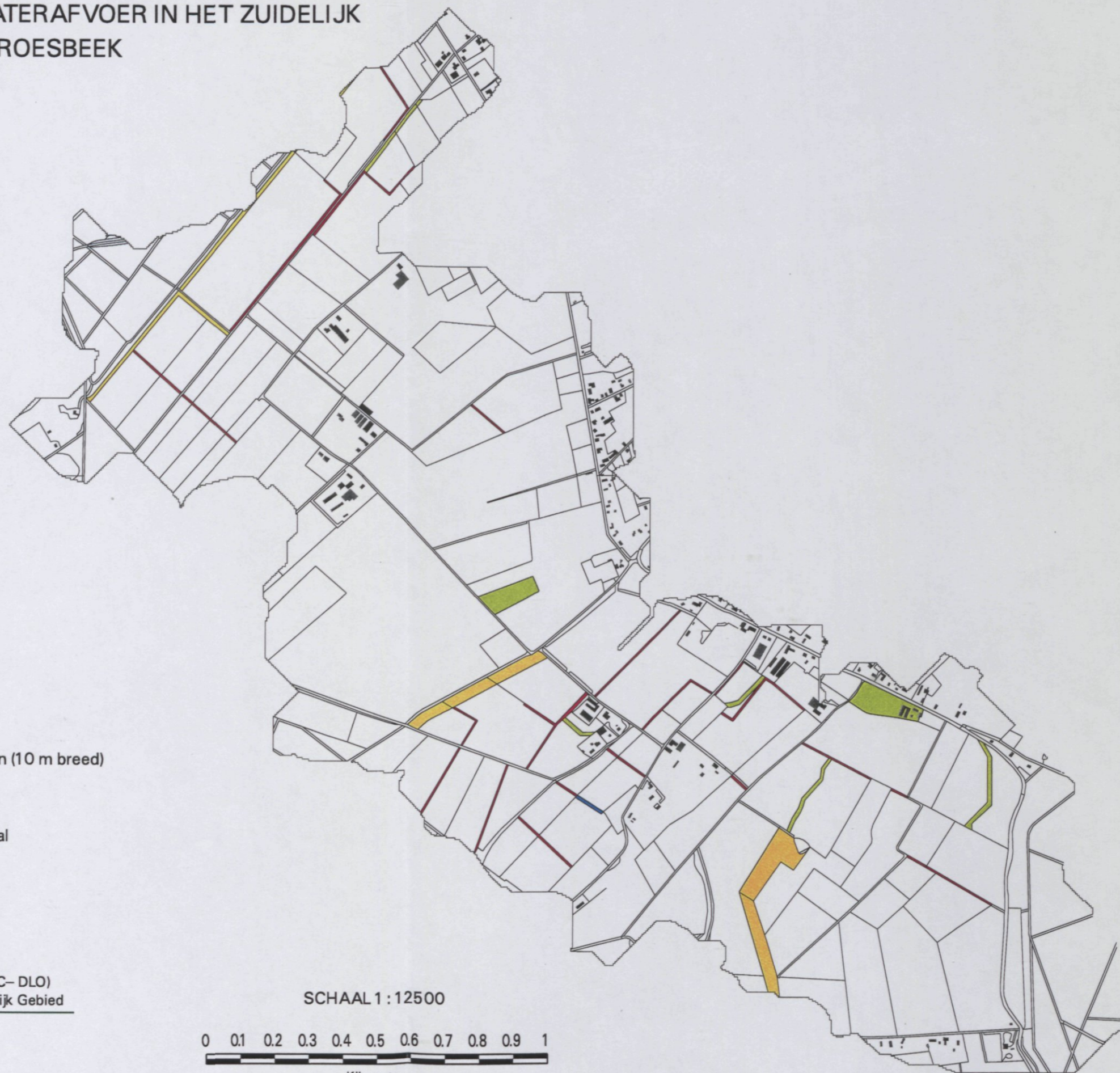
## Aanhangsel 3, vervolg

Stroomgebied 3 75.18	2 jaar herhalingsstijd					25 jaar herhalingsstijd				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Zomerperiode</b>										
Neerslag (mm)	13,3					23,6				
Afvoer (mm)	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	4,2	4,2	4,2	4,0	3,9
Afvoer/Neerslag (%)	4,4	4,4	4,4	3,9	3,6	17,9	17,9	17,6	16,8	16,3
Infiltratie (mm)	12,4	12,4	12,3	12,4	12,4	18,8	18,8	18,9	19,0	19,1
Afvoer (m3)	444,1	443,8	444,4	389,2	363,0	3169,3	3169,0	3127,7	2988,8	2900,4
Piekafvoer (l/s)	185,2	185,1	183,1	152,0	134,8	953,3	953,2	929,4	870,4	838,4
Piektijd (min)	50,0	50,0	50,0	52,0	58,0	98,0	98,0	98,0	100,0	102,0
Spat erosie (ton)	7,4	7,3	7,2	7,0	6,9	13,3	13,3	13,0	12,6	12,5
Stroom erosie (land) (ton)	61,0	61,0	57,7	50,1	42,2	447,4	447,3	434,0	415,3	347,5
Depositie (land) (ton)	-62,8	-62,7	-59,3	-52,8	-49,1	-441,1	-441,0	-428,5	-412,1	-357,4
Erosie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie in kanaal (ton)	-5,6	-5,6	-5,6	-4,2	0,0	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	0,0
Totaal bodemverlies (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemiddeld bodemverlies (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Winterperiode</b>										
Neerslag (mm)	10,0					16,3				
Afvoer (mm)	2,1	1,1	1,1	1,1	1,1	5,8	4,7	4,6	4,5	4,4
Afvoer/Neerslag (%)	20,5	11,5	11,3	10,9	10,6	35,7	28,7	28,4	27,8	27,3
Infiltratie (mm)	7,7	8,4	8,4	8,4	8,4	8,5	9,2	9,2	9,2	9,2
Afvoer (m3)	1543,1	862,0	849,6	822,8	798,4	4380,5	3513,7	3478,5	3402,1	3343,2
Piekafvoer (l/s)	476,2	230,3	221,5	209,9	199,8	1240,7	1038,4	1025,7	1009,8	998,9
Piektijd (min)	82,0	89,0	88,0	90,0	93,0	149,0	153,0	153,0	154,0	154,0
Spat erosie (ton)	3,3	2,8	2,7	2,6	2,6	6,3	5,1	5,0	4,9	4,9
Stroom erosie (land) (ton)	128,9	51,5	49,7	48,1	37,0	474,7	365,4	361,4	362,0	297,2
Depositie (land) (ton)	-118,7	-51,5	-49,8	-48,3	-39,5	-469,7	-364,3	-360,4	-361,7	-300,5
Erosie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie in kanaal (ton)	-2,0	-0,3	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totaal bodemverlies (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemiddeld bodemverlies (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





### Aanhangsel 3, vervolg

Stroomgebied 4 Stroomgebied grootte (ha) 111,66	2 jaar herhalingsijd					25 jaar herhalingsijd				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Zomerperiode</b>										
Neerslag (mm)	13,3					23,6				
Afvoer (mm)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	3,9	3,9	3,7	3,7	3,6
Afvoer/Neerslag (%)	2,5	2,5	2,2	2,1	2,0	16,5	16,5	15,5	15,5	15,3
Infiltratie (mm)	11,7	11,7	11,7	11,8	11,8	18,0	18,0	18,2	18,2	18,2
Afvoer (m3)	375,6	375,6	322,0	316,8	298,3	4348,2	4348,2	4097,5	4088,9	4040,6
Piekafvoer (l/s)	138,4	138,4	141,8	141,7	84,5	1387,2	1387,2	1192,4	1171,2	1137,8
Piektijd (min)	21,0	21,0	21,0	21,0	28,0	83,0	83,0	85,0	87,0	89,0
Spat erosie (ton)	9,0	9,0	8,7	8,6	8,6	16,8	16,8	16,3	16,2	16,1
Stroom erosie (land) (ton)	72,2	72,2	51,4	50,6	53,1	628,8	628,8	553,2	547,2	461,2
Depositie (land) (ton)	-81,2	-81,2	-60,0	-59,2	-61,7	-645,4	-645,4	-569,5	-563,3	-477,3
Erosie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0
Totaal bodemverlies (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemiddeld bodemverlies (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Winterperiode</b>										
Neerslag (mm)	10,0					16,3				
Afvoer (mm)	1,5	0,9	0,9	0,9	0,8	6,1	5,4	5,4	5,4	5,2
Afvoer/Neerslag (%)	14,8	8,9	9,0	8,9	8,4	37,6	33,4	33,2	33,0	31,8
Infiltratie (mm)	8,0	8,4	8,4	8,4	8,4	8,9	9,3	9,2	9,2	9,2
Afvoer (m3)	1648,1	993,5	1003,2	993,2	935,7	6848,1	6081,8	6035,8	6007,4	5788,6
Piekafvoer (l/s)	478,8	250,9	232,3	226,6	199,9	1792,7	1584,9	1519,6	1502,9	1425,2
Piektijd (min)	81,0	91,0	88,0	90,0	101,0	110,0	112,0	113,0	114,0	117,0
Spat erosie (ton)	4,8	4,4	4,3	4,3	4,3	9,3	8,3	8,2	8,2	8,1
Stroom erosie (land) (ton)	196,5	98,6	94,3	92,4	67,3	881,0	744,6	707,6	698,9	563,4
Depositie (land) (ton)	-201,2	-102,8	-98,4	-96,4	-71,3	-888,8	-751,6	-714,4	-705,7	-570,6
Erosie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Depositie in kanaal (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totaal bodemverlies (ton)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemiddeld bodemverlies (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

OVERZICHT LANDINRICHTING TEN BEHOEVE VAN DE LANDGEBRUIKSCENARIO'S VOOR  
BEPALING VAN DE BODEM- EN WATERAFVOER IN HET ZUIDELIJK  
DEEL VAN DE RUILVERKAVELING GROESBEEK



LEGENDA

-  scenario 2: perceelslengte beperken, grasbaan (10 m breed)
-  scenario 3: landinrichtingsplan
-  scenario 4: grasstroken (5 m breed)
-  scenario 5: grasbanen (10 m breed) in droogdal en perceelgebruik gras



DLO - Staring Centrum Wageningen (SC- DLO)  
Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied

Opdrachtgever: Dienst Landelijk Gebied (DLG)

Aanhangsel 1 bij rapport 644

© 1999 DLO- Staring Centrum Wageningen

SCHAAL 1 : 12500

