

37/2016 (30/10/1994)

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**Bodemfysische schematisatie van drie stroomgebieden in
Zuid-Limburg op basis van een erosiegevoeligheidsanalyse**

**J. Stolte
C.J. Ritsema
G.J. Veerman
W. Hamminga**

Rapport 343

- 6 OKT. 1994

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1994



18. 10. 1994

REFERAAT

J. Stolte, C.J. Ritsema, G.J. Veerman en W. Hamminga, 1994. *Bodemfysische schematisatie van drie stroomgebieden in Zuid-Limburg op basis van een erosiegevoeligheidsanalyse*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 343; 42 blz.; 7 fig.; 4 tab.; 18 ref.; 6 bijl.

Fysische eigenschappen van de bodem zijn belangrijke parameters voor het voorspellen van water en sediment afvoer. Op basis van gelijkheid van deze eigenschappen zijn bodemlagen van drie stroomgebieden in Zuid-Limburg samengevoegd. Als functioneel criterium voor de samenvoeging is de potentiële runoff geïntroduceerd. Deze grootte is voor elke voorkomende bodemlaag en toestand van het bodemoppervlak voor een aantal standaard buien berekend. Het resultaat van de clustering is een fysische beschrijving van de drie stroomgebieden. De samenvoeging vond plaats op basis van structuur verschillen. Gemeten afvoer verschillen op proefvelden bleken door verschil in bodemfysische eigenschappen te verklaren.

Trefwoorden: erosie, runoff, waterretentie, waterdoorlatendheid, infiltratie, model simulaties

ISSN 0927-4499

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

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

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

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

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Beschrijving van de onderzoeksgebieden	13
2.1 Ligging en grootte van de onderzoeksgebieden	13
2.2 Bodemgeografisch onderzoek	14
3 Methode	17
3.1 Bemonsteringsstrategie	17
3.2 Het model SWMS_2D	17
3.3 Clustering bodemlagen	18
4 Resultaten	23
4.1 Bodemfysische karakteristieken	23
4.2 Clustering bodemlagen	24
4.3 Betrouwbaarheid	26
5 Conclusie	29
Literatuur	31
Niet-gepubliceerde bronnen	32
Tabellen	
1 Onderverdeling van de hoogste niveaus van de bodemtypen van de drie stroomgebieden met de absolute en procentuele bijdrage aan de totale oppervlakte.	14
2 Overzicht bemonsterde horizonten met aantal monsters.	17
3 Bemonsterde condities van het bodemoppervlak en tijdstip van bemonstering.	18
4 Gemeten textuur van de onderscheiden bodemlagen incl. standaard afwijking.	26

Figuren

1 Ligging van de drie stroomgebieden.	13
2 Karakteristieken van buien waarmee representatieve profielen en, voor de tweejaarlijkse buien, individuele monsters zijn doorgerekend met het computermodel SWMS_2D.	20
3 Karakteristieke profielen van de bodemtypen voorkomend in de drie stroomgebieden.	21
4 Resultaat van RETC fit procedure toegepast op een monster gestoken op 16 cm diepte in een helling in het stroomgebied Catsop.	23
5 Potentiële runoff berekeningen van de individuele monsters gestoken in briklagen voor een tweejaarlijkse winterbui.	24
6 Potentiële runoff berekeningen van 5 onderscheiden profielen met dezelfde fysische karakteristieken voor de A-horizont en voor de ondergronden de parametersets behorende bij de maximum, minimum en gemiddeld gegenereerde runoff van de individuele monsters.	25
7 Gemeten actuele runoff versus berekende potentiële runoff voor een aantal proefvelden van de proefboerderij Wijnandsrade.	27

Aanhangsels

Aanhangsel 1 Mualem-Van Genuchten parameters individuele monsters	33
Aanhangsel 2 Gemeten verzadigde doorlatendheden	37
Aanhangsel 3 Berekende potentiële runoff	39
Aanhangsel 4 Bouwsteen codes	40
Aanhangsel 5 Mualem-Van Genuchten parametersets van de fysische bouwstenen	41
Aanhangsel 6 Weergave van verdeling van fysische profielen voor stroomgebied Etzenrade in winter- en zomerperiode	42

Woord vooraf

De bebouwde kom van dorpen in het lössgebied van Limburg hebben een dusdanige overlast van erosie dat het provinciebestuur van Limburg een onderzoek naar het voorkómen hiervan heeft geïnitieerd, wat versneld doorgang heeft gevonden door een zware bui in april 1986. Nadruk bij het onderzoek ligt op cultuurtechnische en landbouwkundige maatregelen. Het onderzoek is gefinancierd door de provincie Limburg, 14 betreffende Zuid-Limburgse gemeenten, het ministerie van LNV en het waterschap Roer & Overmaas en is uitgevoerd door de Rijksuniversiteit Utrecht, vakgroep fysische geografie; de Universiteit van Amsterdam, vakgroep fysische geografie en bodemkunde; en het DLO-Staring Centrum, hoofdafdeling fysisch bodembeheer. Dit rapport is een verslaglegging van een deel van het onderzoek, uitgevoerd door het DLO-Staring Centrum.

Norbert Creemers, Ruud Offermans & Ad de Roo (RUU) en Paul van Dijk (UvA) worden bedankt voor het beschikbaar stellen van benodigde data en voor de hulp bij het selecteren van bemonsteringslocaties.

Speciale dank gaat uit naar Agnes Arends, stagiaire van de Internationaal Agrarische Hogeschool Larenstein voor de monsternamen en bepaling van de fysische karakteristieken van het bodemoppervlak gedurende voorjaar en zomer van 1993.

Samenvatting

In opdracht van 14 Zuid-Limburgse gemeenten, het ministerie van LNV, het waterschap Roer en Overmaas en de provincie Limburg is in 1991 een erosienormeringsonderzoek gestart. Het doel van dat onderzoek is het ontwikkelen van een computermodel dat water en sediment afvoer op stroomgebiedsniveau kan voorspellen in afhankelijkheid van bodemtype, landgebruik, helling, neerslagintensiteit etc. Belangrijke parameters daarbij zijn de fysische eigenschappen van de bodem. Bodemlagen met vergelijkbare fysische eigenschappen worden geclusterd, zodat een beperkt aantal 'fysische bouwstenen' resteren voor modelinvoer. Voor een erosiegevoeligheidsanalyse van de verschillende bodemtypen is een criterium vastgesteld dat nauw geassocieerd is met de infiltratie capaciteit en het bergend vermogen van de grond. Dit functioneel criterium is de potentiële runoff (neerslag - infiltratie) die gegenereerd wordt gedurende een standaard regenbui.

In drie stroomgebieden in Zuid-Limburg zijn monsters genomen van bodemhorizonten en van lagen aan het bodemoppervlak die afhankelijk van teeltsysteem een variabele structuur kunnen hebben. Van deze monsters zijn de bodemfysische karakteristieken bepaald. Deze karakteristieken zijn gebruikt als invoer van het computermodel SWMS_2D, dat de potentiële runoff van individuele monsters en bodemprofielen berekent.

Uit de vergelijking van de verschillende berekende potentiële runoff hoeveelheden blijkt dat de bodem vanaf 30 cm-mv adequaat te beschrijven is met één bodemfysische bouwsteen, ondanks de aanwezige textuurverschillen tussen de verschillende bodem horizonten. Voor de laag van 15 - 30 cm-mv volstaan twee bouwstenen net als voor de laag vanaf de bewerkingsdiepte tot 15 cm-mv. De rest van de bouwstenen beschrijven een bepaalde structuur toestand van het bodemoppervlak (0 cm-mv tot bewerkingsdiepte). In totaal zijn 24 bodemfysische bouwstenen gegenereerd.

Uit vergelijking van berekeningen met metingen op proefvelden blijkt de tendens in gemeten afstroming tussen de verschillende teeltsystemen eveneens in de berekende afvoer hoeveelheden terug te vinden is.

1 Inleiding

In 1991 is in opdracht van 14 Zuid-Limburgse gemeenten, het ministerie van LNV, het waterschap Roer en Overmaas en de provincie Limburg een erosienormeringsonderzoek gestart. Het doel van dat onderzoek is het ontwikkelen van een computermodel dat water en sediment afvoer op stroomgebiedsniveau kan voorspellen in afhankelijkheid van bodemtype, landgebruik, helling, neerslagintensiteit etc. Belangrijke parameters daarbij zijn de fysische eigenschappen van de bodem. Het doel van dit rapport is het maken van een bodemfysische schematisatie van drie stroomgebieden in Zuid-Limburg, op basis van de fysische eigenschappen van de voorkomende bodemlagen.

Bodemlagen met vergelijkbare fysische eigenschappen worden geclusterd, zodat een beperkt aantal 'fysische bouwstenen' resterend voor modelinvoer. Een belangrijk aspect hierbij is de keuze van de grondslag voor samenvoeging van de bodemlagen (het functioneel criterium). Voor een erosiegevoeligheidsanalyse van de bodemlagen is een criterium nodig dat samenhangt met de infiltratiecapaciteit en het waterbergend vermogen van de bodem. Een grootte hiervoor kan de hoeveelheid water zijn die als gevolg van een regenbui niet infiltreert (potentiële runoff).

Om deze grootte te berekenen zijn van elke voorkomende bodemlaag waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken nodig. Met behulp van dergelijke karakteristieken kan per bodemlaag of toestand van het bodemoppervlak de potentiële runoff bij een bepaalde regenbui berekend worden. In deze studie is hiervoor het computermodel SWMS_2D (Šimunek et al., 1992) gebruikt.

Het volgende hoofdstuk beschrijft de onderzoeksgebieden, waarna de bemonsteringsstrategie, modelbeschrijving en de manier van clusteren van bodemlagen behandeld worden. In het vierde hoofdstuk worden de resultaten van de clustering gepresenteerd en wordt tevens de betrouwbaarheid ervan aangegeven. Enige conclusies volgen in het laatste hoofdstuk.

2 Beschrijving van de onderzoeksgebieden

2.1 Ligging en grootte van de onderzoeksgebieden

Een drietal stroomgebieden zijn op basis van representativiteit t.o.v. het totale lössgebied, bereidwilligheid van de grondgebruikers, en eventueel al aanwezige meetapparatuur geselecteerd om gedurende enkele jaren neerslag, runoff en drukhoogtemetingen te verrichten. Ook werden in deze periode inventarisaties van het grondgebruik en de toestand van het bodemoppervlak (bodemruwheid, aggregaatstabiliteit, mate van verslemping etc.) uitgevoerd. Deze gegevens zijn gebruikt als invoer voor het Limburg Soil Erosion Model (LISEM) (de Roo et al., 1993). In Figuur 1 is de lokatie van de drie stroomgebieden aangegeven.

De oppervlakte van het stroomgebied Catsop bedraagt bijna 42 ha. en van het stroomgebied St. Gillisstraat bijna 43 ha. Het stroomgebied Etzenrade is een stuk groter en beslaat bijna 225 ha.

Naast onderzoek op praktijkpercelen is ook gebruik gemaakt van erosiebeperkende teeltsysteem-proeven op percelen van de proefboerderij

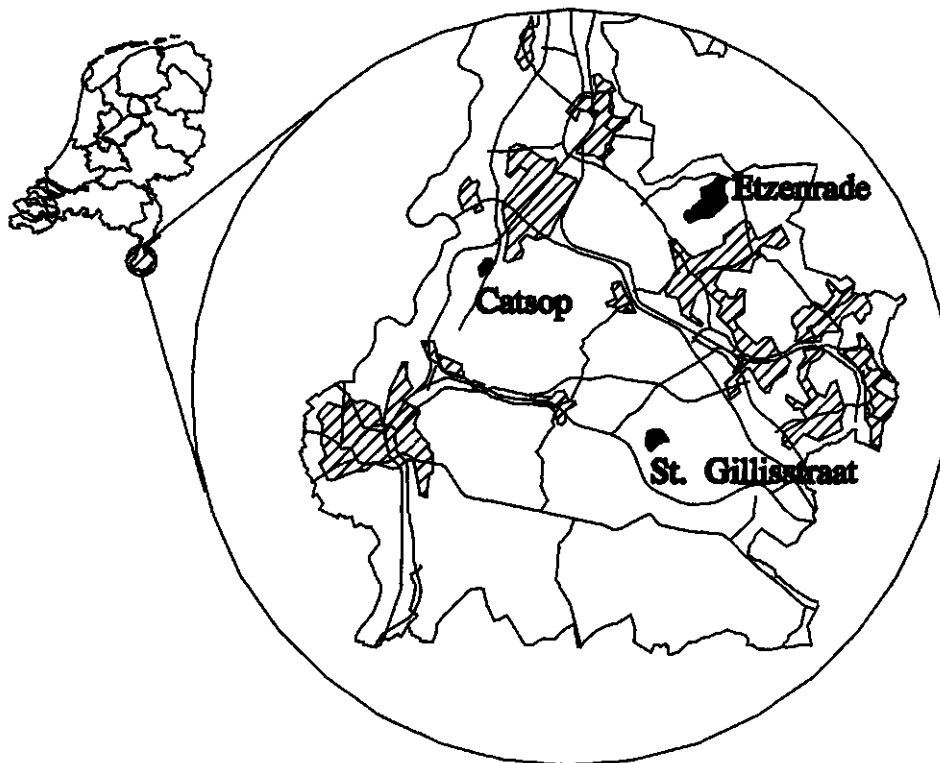


Fig. 1 Ligging van de drie stroomgebieden. Geërceerd gebied is bebouwde kom.

Wijnandsrade. Deze proeven zijn aangelegd in 1990 en hebben als doel het ontwikkelen van alternatieve teeltsystemen voor snijmaïs, suikerbieten en aardappelen die een reductie in waterafvoer en bodemverlies geven (proefboerderij Wijnandsrade, 1992 & 1993). In deze studie is gebruik gemaakt van de snijmaïs proefvelden.

2.2 Bodemgeografisch onderzoek

De drie stroomgebieden zijn onderworpen aan een bodemgeografisch onderzoek (Leenders, 1994). Daarbij zijn vier boringen per ha verricht tot 150 cm beneden maaiveld of tot de vaste (stenige) ondergrond. Bij elke boring werd van de onderscheiden horizonten een aantal variabelen zoals dikte, organische-stof gehalte en textuur geschat en werd de profielopbouw gekarakteriseerd.

Van de drie stroomgebieden is een beschrijvende legenda opgesteld. Daarbij zijn op het hoogste niveau leemgronden, oude kleigronden en stenige gronden onderscheiden. Voor een verdere onderverdeling van de hoogste niveaus en de verbreiding van de verschillende bodemtypen zie tabel 1.

Tabel 1 *Onderverdeling van de hoogste niveaus van de bodemtypen van de drie stroomgebieden met de absolute en procentuele bijdrage aan de totale oppervlakte (naar Leenders, 1994).*

bodemtype	oppervlakte	
	(ha)	(%)
leemgronden:		
radebrikgronden	64	21
bergbrikgronden	72	23
bergbrikgronden met een colluviaal dek	40	13
poldervaaggronden in dalfase	<1	<1
ooivaaggronden in situ	21	7
ooivaaggronden in hellingfase	16	5
ooivaaggronden in hellingvoetfase	18	6
ooivaaggronden in dalfase	66	21
oude kleigronden:		
ondiepe kalksteengronden	5	2
kleefaarde	6	2
stenige gronden		
grindvaaggronden	<1	<1

De leemgronden zijn de meest voorkomende bodemtypen in de drie gebieden. Deze zijn onderverdeeld in radebrik-, bergbrik-, poldervaag- en ooivaaggronden (tabel 1). De leemgronden bestaan tussen 0 en 80 cm - mv voor meer dan de helft van die dikte uit leem (materiaal met meer dan 50% deeltjes kleiner dan 50 µm). Löss bevat in deze gebieden meer dan 85% leemfractie (siltige leem). De rade- en bergbrikgron-

den hebben een briklaag, een door inspoeling ontstane B2t-horizont die naar verhouding wat meer lutum (deeltjes kleiner $2 \mu\text{m}$) bevat. De radebrikgronden hebben nog een volledig profiel, waar bij de bergbrikgronden de oorspronkelijke A- en E-horizonten weggeërodeerd zijn. Een A-horizont is een teelaarde laag en een E-horizont is een door uitspoeling van lutum verarmde laag. Later heeft op een deel van deze gronden weer sedimentatie plaatsgevonden.

Leemgronden zonder briklaag zijn tot de vaaggronden gerekend. Deels zijn het leemgronden met sterk geërodeerde profielen, waarbij zowel A- als B-horizonten geheel of grotendeels verdwenen zijn; en deels zijn het leemgronden die uit geërodeerd materiaal zijn opgebouwd (colluviale gronden). De vaaggronden zijn onderverdeeld in poldervaaggronden met hydromorfe kenmerken binnen 50 cm - mv, en ooi-vaaggronden met hydromorfe kenmerken dieper dan 80 cm - mv. Op basis van de landschappelijke ligging zijn vier groepen vaaggronden onderscheiden (zie tabel 1). Het resultaat van het bodemgeografisch onderzoek is een bodemkaart schaal 1 : 5 000 van de drie stroomgebieden (zie Leenders, 1994).

3 Methode

3.1 Bemonsteringsstrategie

Van elke voorkomende bodemlaag in de drie onderzoeksgebieden zijn monsters genomen van 8 cm hoog en 10 cm in diameter. In totaal zijn op vier verschillende percelen op drie plaatsen per perceel de bovenste twee bodemhorizonten in duplo bemonsterd. A-horizonten zijn bemonsterd op 0, 6 en 16 cm-mv. De onderliggende horizont werd op 36 cm-mv bemonsterd. Diepere lagen werden op één plaats op hetzelfde perceel in duplo bemonsterd. In totaal zijn van de verschillende horizonten 99 bodemfysische karakteristieken bepaald (zie tabel 2).

Tabel 2 Overzicht bemonsterde horizonten met aantal monsters.

horizont	aantal
Ap (6-14 cm-mv)	22
Ap (16-24 cm-mv)	23
Bt (briklaag)	10
Cu (löss colluvium)	34
Cu (löss in situ)	4
Cw (kleefaarde)	4
Cu (krijt)	2

Naast de bemonstering van de verschillende horizonten zijn ook additionele monsters genomen uit de laag 0-8 cm-mv in percelen met verschillende teeltsystemen. Deze bemonstering heeft plaatsgevonden op zowel praktijkpercelen als proefvelden van de proefboerderij Wijnandsrade. Verscheidene teeltsystemen zijn meerdere tijdstippen van het jaar bemonsterd (zie tabel 3). In totaal zijn van 67 monsters uit de toplaag van de teeltsystemen bodemfysische karakteristieken bepaald. Een gedetailleerd overzicht van de uitgevoerde bemonstering wordt gegeven door Arends (1993).

3.2 Het model SWMS_2D

Bodemlagen kunnen worden geclusterd op basis van hun fysische eigenschappen. Een belangrijke keuze die daarbij gemaakt moet worden is het functioneel criterium. Deze grootheid is de basis van de clustering. In sommige studies wordt de stijghoogte gebruikt als functioneel criterium (Stolte & Wösten, 1991) soms aangevuld met het verzadigingstekort (Bannink & Wösten, 1988). Ook zijn studies uitgevoerd waarbij het verzadigingstekort, de verblijftijd en de doorlatenheid als functie van de luchtgevulde poriën als functionele criteria zijn gebruikt (Wösten et al., 1986). Voor een erosiegevoeligheidsanalyse van de

Tabel 3 Bemonsterde condities van het bodemoppervlak en tijdstip van bemonstering.

bemonsteringscondities	bemonsteringsdata
<i>praktijkpercelen</i>	
maïs	24-8-92; 19-11-92; 15-4-93; 4-5-93
wielspoor maïs	16-6-93
boomgaard	16-8-92
nagewas gras	20-11-92
tarwe	18-2-93; 15-4-93; 4-5-93; 28-5-93
wielspoor tarwe	28-5-93
suikerbieten	4-5-93; 16-6-93
wielspoor suikerbieten	16-6-93
grasland (jong & oud, met en zonder begrazing)	28-5-93; 15-6-93
<i>proefvelden</i>	
zonder zaaibedbereiding	30-3-93; 4-5-93
parapflug	4-5-93
met zaaibedbereiding	4-5-93
direct zaai	30-3-93; 4-5-93
strodek	30-3-93; 4-5-93
praktijksituatie	30-3-93; 4-5-93

bodemlagen kan een criterium gebruikt worden dat nauw geassocieerd is met de infiltratie capaciteit en het bergend vermogen van de grond. In deze studie is het functioneel criterium vastgesteld als de hoeveelheid potentiële runoff (neerslag - infiltratie) die de grond genereert gedurende een standaard regenbui met vaste duur en intensiteit. Monsters die eenzelfde mate van potentiële runoff genereren gedurende de standaard regenbui kunnen dan geclusterd worden.

Voor het berekenen van de potentiële runoff gedurende zo'n standaard regenbui is gebruik gemaakt van het computermodel SWMS_2D (Šimůnek et al., 1992). SWMS_2D is een numeriek model, oorspronkelijk ontwikkeld door Davis en Neuman (1983). Het programma analyseert de stroming van water in onverzadigd, gedeeltelijk verzadigd of volledig verzadigd materiaal. Bij aanname van een twee-dimensionaal isothermische Darcy stroming van water, waarbij damptransport wordt verwaarloosd en de stromingsrichting hoofdzakelijk verticaal is geldt een aangepaste vorm van de Richard's stromingsvergelijking. Zie voor een gedetailleerde beschrijving van het model Šimůnek et al., 1992.

3.3 Clustering bodemlagen

De verschillende bodemhorizonten zijn éénmaal bemonsterd (par. 3.1), terwijl het bodemoppervlak meerdere malen is bemonsterd (tabel 3). De waterretentie- en de onverzadigde doorlatendheidskarakteristieken van deze monsters zijn bepaald met de verdampingsmethode (Wind, 1968; Boels et al., 1987). Daarnaast is de verzadigde doorlatendheid gemeten met de constant-head methode (Stolte et al., 1992; Klute and Dirksen, 1986). Om de gemeten gegevens om te zetten in invoer voor SWMS_2D

werd een Mualem-Van Genuchten fit-procedure uitgevoerd (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1980). Hierbij worden de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek beschreven volgens:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (1)$$

$$K(h) = K_{fs} \frac{[(1 + |\alpha h|^n)^m - |\alpha h|^{n-1}]^2}{(1 + |\alpha h|^n)^{m(l+2)}} \quad (2)$$

waarbij:

- $\theta(h)$ = bodemvochtgehalte als functie van de drukhoogte (-);
- θ_r = residuair watergehalte (-);
- θ_s = verzadigd watergehalte (-);
- $K(h)$ = doorlatendheid als functie van de drukhoogte (cm d^{-1});
- K_{fs} = geoptimaliseerde verzadigde doorlatendheid (cm d^{-1});
- h = drukhoogte (cm);
- α, n, m, l = parameters die de vorm van de curve beschrijven (-).

De fit procedure werd uitgevoerd met behulp van het computer model RETC (Van Genuchten et al., 1991). Het resultaat van de fit is een set van parameters voor ieder monster.

De parameter-set en een K_s factor werden als invoer voor SWMS_2D gebruikt. Deze K_s factor is bepaald uit calibratie van berekende drukhoogte met gemeten drukhoogte en werd als volgt berekend:

$$(2 \times \text{geoptimaliseerde } K_{fs} + 1 \times \text{gemeten } K_s) / 3.$$

Gebleken is dat de geoptimaliseerde verzadigde doorlatendheid te laag is om de drukhoogte te voorspellen en de gemeten te hoog.

Elk individueel monster (10 cm dik in model berekening) werd doorgerekend voor een tweejaarlijkse zomer- en winterbui. De karakteristieken van deze buien staan in Figuur 2 en zijn samengesteld op basis van meetgegevens van het waterschap Roer en Overmaas.

De gesimuleerde hoeveelheid potentiële runoff werd getabelleerd. Uit deze resultaten werd per bodemhorizont de parameterset met de gemiddelde hoeveelheid potentiële runoff en de maximum en minimum hoeveelheid geselecteerd. Vervolgens werden karakteristieke profielen per bodemtype vastgesteld op basis van de bodemkaart Van deze bodemprofielen werd het afvoerpercentage berekend voor een tweejaarlijkse zomer- en winterbui en voor een vijftientigjaarlijkse zomer- en winterbui (Figuur 2). Hierbij werd de A-horizont in drie lagen opgedeeld, die corresponderen met de monsterdieptes (Figuur 3).

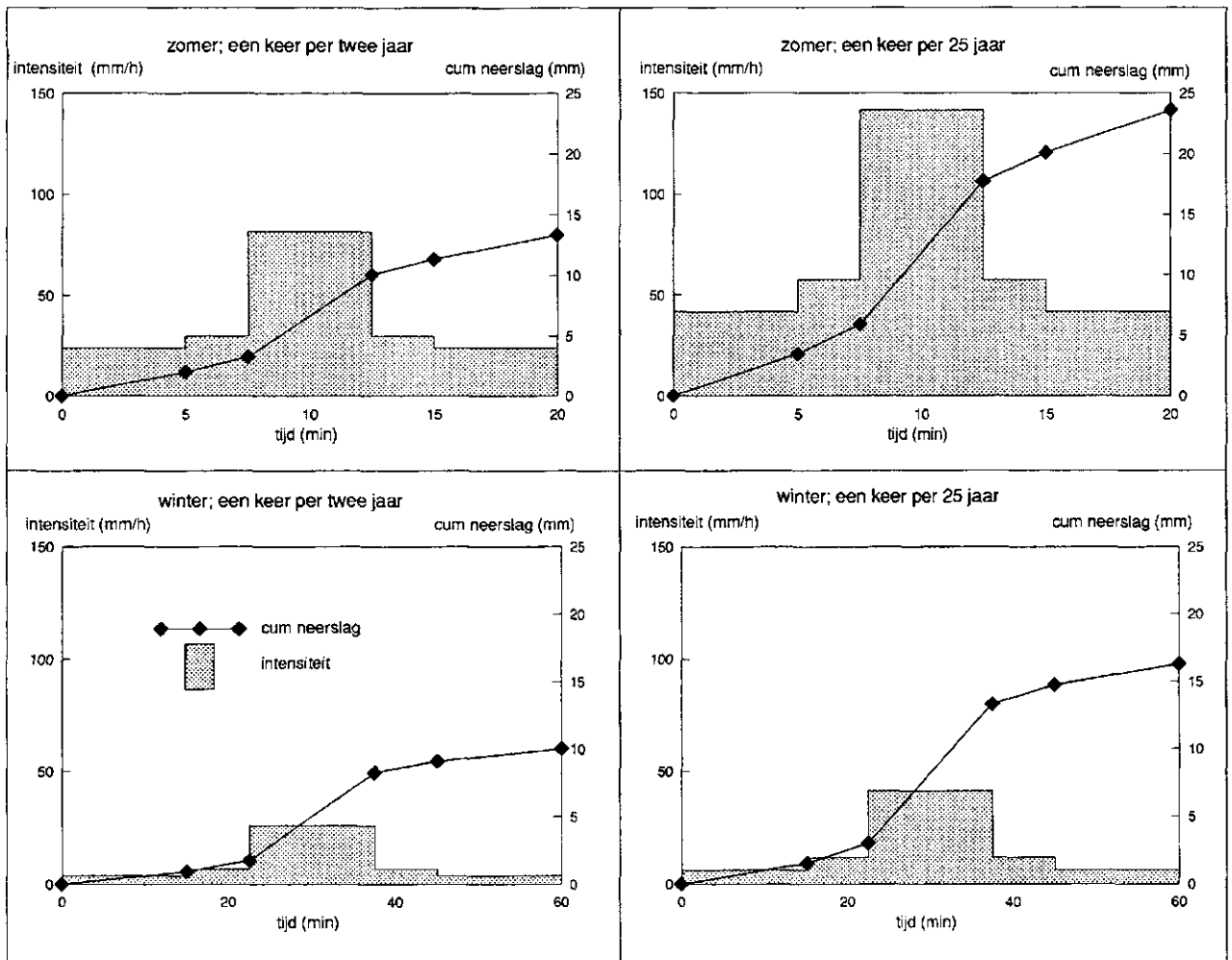


Fig. 2 Karakteristieken van buien waarmee representatieve profielen en, voor de tweejaarlijkse buien, individuele monsters zijn doorgerekend met het computermodel SWMS_2D.

Eerst werden de karakteristieken van de A-horizont constant gehouden (gebruikt werd de parameterset die correspondeert met de gemiddelde hoeveelheid potentiële runoff per laag) en die voor de ondergrond gevarieerd tussen de parametersets van de gemiddelde, minimum en maximum hoeveelheden potentiële runoff. Op basis van deze berekeningen werden de ondergronden geclusterd in fysische bouwstenen.

Door de grote verscheidenheid aan condities van het bodemoppervlak en de verschillen in bemonsteringstijdstip werden de fysische bouwstenen voor het bodemoppervlak op een andere wijze bepaald. Alleen de A-1 lagen (0-8 cm-mv) zijn geëvalueerd op de hoeveelheid potentiële runoff tijdens de vier standaard buien. De betreffende monsters werden hiertoe in de modelberekeningen op een standaard ondergrond geplaatst met vaste bodemfysische karakteristieken.

Voor de indeling van de A-2 en A-3 laag in fysische bouwstenen zijn de berekeningen van de individuele monsters gebruikt. Een verdere evaluatie van deze resultaten bleek niet nodig.

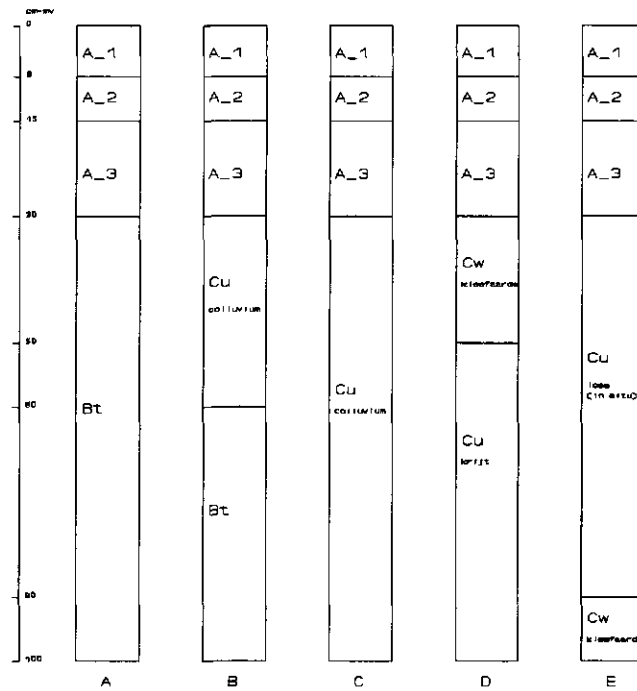


Fig. 3 Karakteristieke profielen van de bodemtypen voorkomend in de drie stroomgebieden.

A = rade- en bergbrikgronden; B = bergbrikgronden met colluviaal dek;

C = polder- en ooivaaggronden; D = oude kleigronden; E = polder- en ooivaaggronden met kleeflaar in ondergrond.

4 Resultaten

4.1 Bodemfysische karakteristieken

De verdampingsmethode genereert gegevens van zowel de waterretentie- als doorlatendheidskarakteristiek. Door de metingen van de verdampingsmethode en de verzadigde doorlatendheid is met het computer programma RETC een lijn gefit. Een voorbeeld van een resultaat van deze fit procedure is te zien in figuur 4.

In aanhangsel 1 is een overzicht gegeven van alle parameter sets van de verschillende monsters. In aanhangsel 2 staan de gemeten verzadigde doorlatendheden. De gemeten verzadigde doorlatendheid ligt over het algemeen hoger dan de gefitte verzadigde doorlatendheid. Dit is te verklaren door de aanwezigheid van macroporiën die met name meedoen in het waterstromingsproces bij verzadiging. De metingen van de verdampingsmethode zijn beperkt tot het drukhoogte bereik van ± 50 cm tot ± 800 cm. Met deze methode kan geen goede verzadigde doorlatendheid van het monster worden bepaald. Ook is het model RETC niet in staat om een dergelijk sprong in de $k(h)$ -relatie adequaat te beschrijven. Het model SWMS_2D kan wel overweg met een Mualem-Van Genuchten parameterset waarbij de gemeten K_s kan als invoer wordt meegenomen.

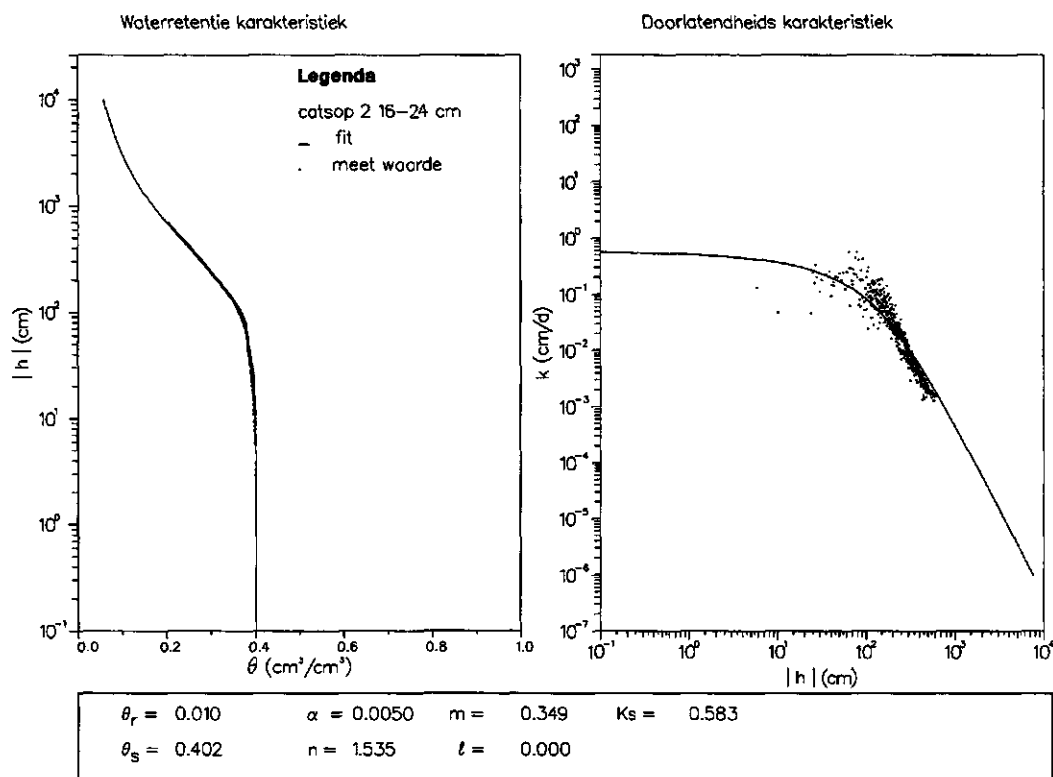


Fig. 4 Resultaat van RETC fit procedure toegepast op een monster gestoken op 16 cm diepte in een helling in het stroomgebied Catsop. De gemeten punten zijn resultaten van de verdampingsmethode en verzadigde doorlatendheid meting.

4.2 Clustering bodemlagen

Voor de individuele monsters zijn SWMS_2D berekeningen gemaakt voor een tweejaarlijkse zomer- en winterbui. Deze berekeningen resulteerden in potentiële runoff gegevens. Een voorbeeld van het resultaat van een dergelijke berekening staat in Figuur 5, waar de potentiële runoff berekeningen van de verschillende monsters van briklagen staan weergegeven.

In aanhangsel 3 staan de gemiddelde potentiële runoff gegevens per bodemlaag weergegeven met bijbehorende maximum en minimum voor de doorgerekende bui karakteristieken. Uit deze gegevens zijn de monsters (d.i. de parametersets) voor de ondergrond (vanaf 30 cm-mv) geselecteerd die in beide gevallen een gemiddelde potentiële runoff genereren en de monsters die de maximale en minimale runoff genereren. Met deze monsters is een berekening van de onderscheiden profielen doorgevoerd met 4 bui karakteristieken. De fysische karakteristieken van de A-horizont zijn daarbij constant gehouden. Het resultaat van deze berekening is te zien in Figuur 6. Hieruit blijkt dat er geen verschil in berekende potentiële runoff optreedt tussen de verschillende profielen. Geconcludeerd wordt dat het beschrijven van de ondergrond met één parameterset voldoende is om de potentiële runoff te voorspellen.

De berekeningen met de 'gemiddelde' ondergrond en steeds een andere toestand van de het bodemoppervlak heeft geresulteerd in een grote hoeveelheid potentiële runoff gegevens. Er is daarbij onderscheid gemaakt in teeltsystemen en tijdstip.

Uit statistische analyse van de individuele monsters blijkt dat er geen aantoonbaar verschil zit in potentiële runoff van de laag van 15 - 30 cm-mv voor akkerland. De

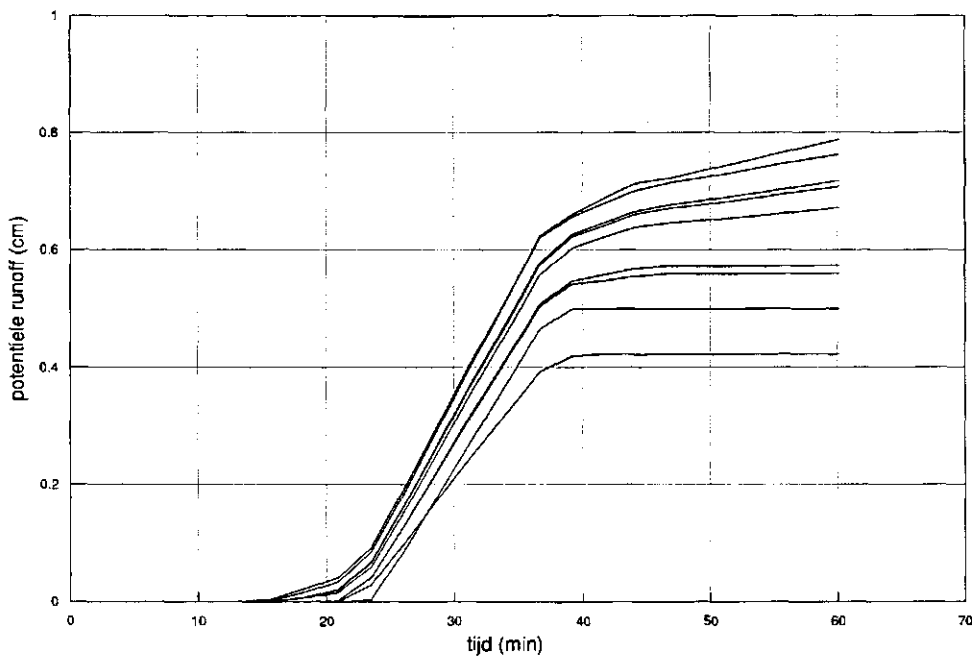


Fig. 5 Potentiële runoff berekeningen van de individuele monsters gestoken in briklagen voor een tweejaarlijkse winterbui. De initiële drukhoogte is gesteld op -100 cm en de dikte van de doorgerekende laag op 10 cm.

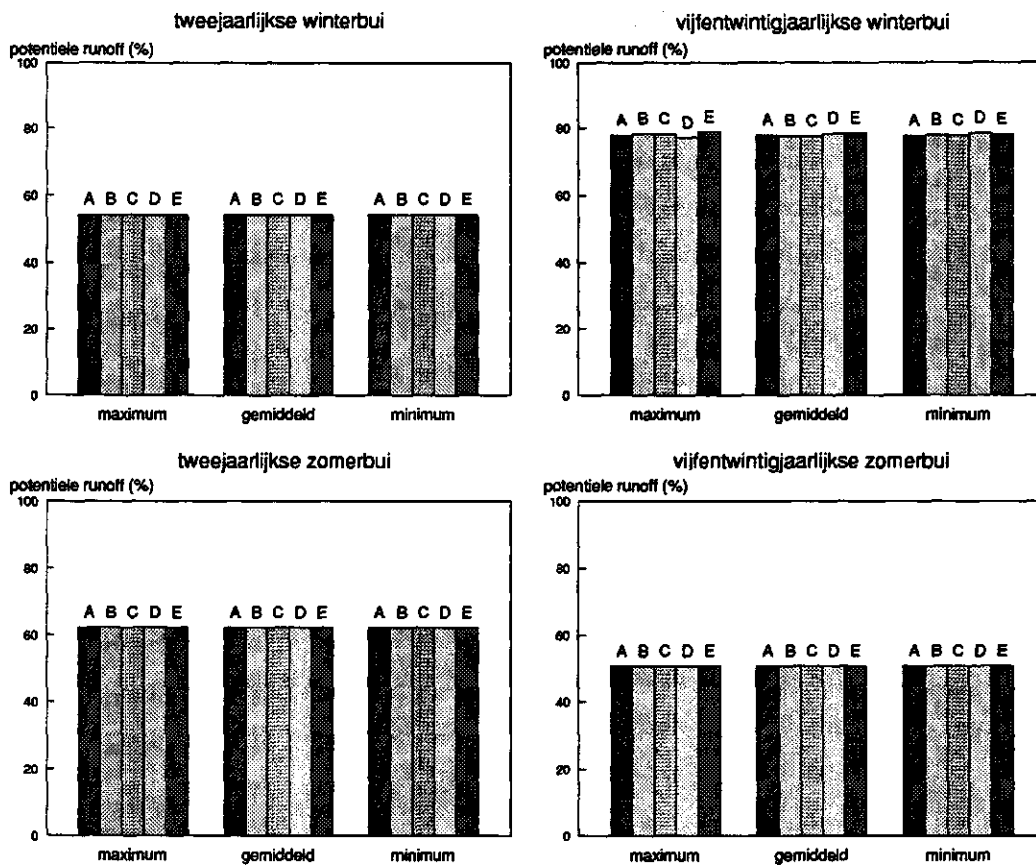


Fig. 6 Potentiële runoff berekeningen van 5 onderscheiden profielen met dezelfde fysische karakteristieken voor de A-horizont en voor de ondergronden de parametersets behorende bij de maximum, minimum en gemiddeld gegenereerde runoff van de individuele monsters. Berekeningen uitgevoerd met 4 verschillende bui karakteristieken.

berekende potentiële runoff gegevens van de boomgaard zijn wel significant afwijkend. Hieruit volgt dat de laag van 15 - 30 cm-mv beschreven kan worden met 2 parametersets, 1 voor akkerland en 1 voor boomgaarden.

De bovengrond (0 - 15 cm-mv) is verder onder te verdelen in een laag van maai-veld tot beweringsdiepte en een laag van beweringsdiepte tot 15 cm-mv. De beweringsdiepte is op 10 cm-mv gesteld. Voor de laag van 10 - 15 cm-mv zijn alleen de monsters van de praktijkpercelen beschikbaar. Er wordt aangenomen dat bewerking van de bovengrond geen invloed heeft op de fysische karakteristieken van deze laag. Voor deze laag geldt hetzelfde als voor de laag van 15 - 30 cm: er is alleen een statistisch significant onderscheid te maken voor akkerland versus boomgaard.

Voor de laag van 0 - 10 cm-mv zijn een scala aan parametersets met bijbehorende potentiële runoff gegevens beschikbaar. Hierin is moeilijk een clustering uit te voeren omdat de onderlinge verschillen in gegenereerde potentiële runoff groot zijn. Op basis

van de gegenereerde runoff gegevens is een indeling gemaakt in tijdstip en teeltsysteem. De tijdstippen zijn:

- tot maximaal 1 maand na zaai;
- voorjaar;
- zomer;
- na stoppelbewerking/oogst;
- winter.

Voor de wielsporen blijkt er weinig verschil te zitten bij verschillende gewassen. Bij de schematisatie is hieraan één parameterset toegekend.

Resumerend geeft deze clustering een bodemfysische beschrijving van de drie onderzoeksgebieden bestaande uit 24 fysische bouwstenen zoals die in aanhangsel 4 staan weergegeven. In aanhangsel 5 staan de bijbehorende parametersets en verzadigde doorlatendheid gegevens. De ondergrond (= vanaf 30 cm - mv) bestaat voor alle grondsoorten het gehele jaar uit één bouwsteen. Voor de laag van 15-30 cm zijn twee bouwstenen nodig voor een adequate beschrijving: één voor akkerland en één voor boomgaarden. Dit geldt ook voor de laag van bewerkingsdiepte tot 15 cm-mv. De rest van de bouwstenen beschrijven een bepaalde structuurtoestand van het bodemoppervlak (maaiveld tot bewerkingsdiepte). Uit tabel 4 blijkt namelijk dat de textuur van de A-horizont niet noemenswaardig verschilt tussen de gemeten monsters. De fysische schematisatie van deze laag is dus gekoppeld aan structuurverschillen i.p.v. textuurverschillen van de grond.

Tabel 4 Gemeten textuur van de onderscheiden bodemlagen incl. standaard afwijking.

bodemlaag	lutum		Leem		
	%	s.a.*	%	s.a.	aantal
A-horizont	15.0	2.4	92.3	5.4	37
briklaag	20.9	1.7	97.2	0.7	5
löss, colluvium	16.8	1.8	92.5	2.8	13
löss, in situ	20.2**	1.7	96.0	0.4	6
kleefarde	23.3		88.1		1
krijt	58.4		93.0		1

* s.a. = standaard afwijking

** Het hoge lutumgehalte van de löss in situ is te verklaren door de situering van deze laag. Dit is bij vrijwel alle monsterlocaties direct onder een briklaag. Er is geen duidelijke grens tussen de 'zuivere' lösslagen en de briklaag.

Met behulp van de fysische bouwstenen zijn fysische profielen van verschillende teeltsystemen per seizoen samen te stellen. Een voorbeeld van gebruik van deze fysische profielen als invoer voor LISEM is te zien in aanhangsel 6.

4.3 Betrouwbaarheid

Clustering van fysische gegevens op basis van een functioneel criterium is een schematisatie van de werkelijkheid. Door nu berekeningsresultaten te vergelijken met gemeten resultaten is een uitspraak te doen over de betrouwbaarheid van de schematisatie. Met dit doel zijn de berekeningsproeven die in 1993 uitgevoerd

actuele & potentiële runoff percentage

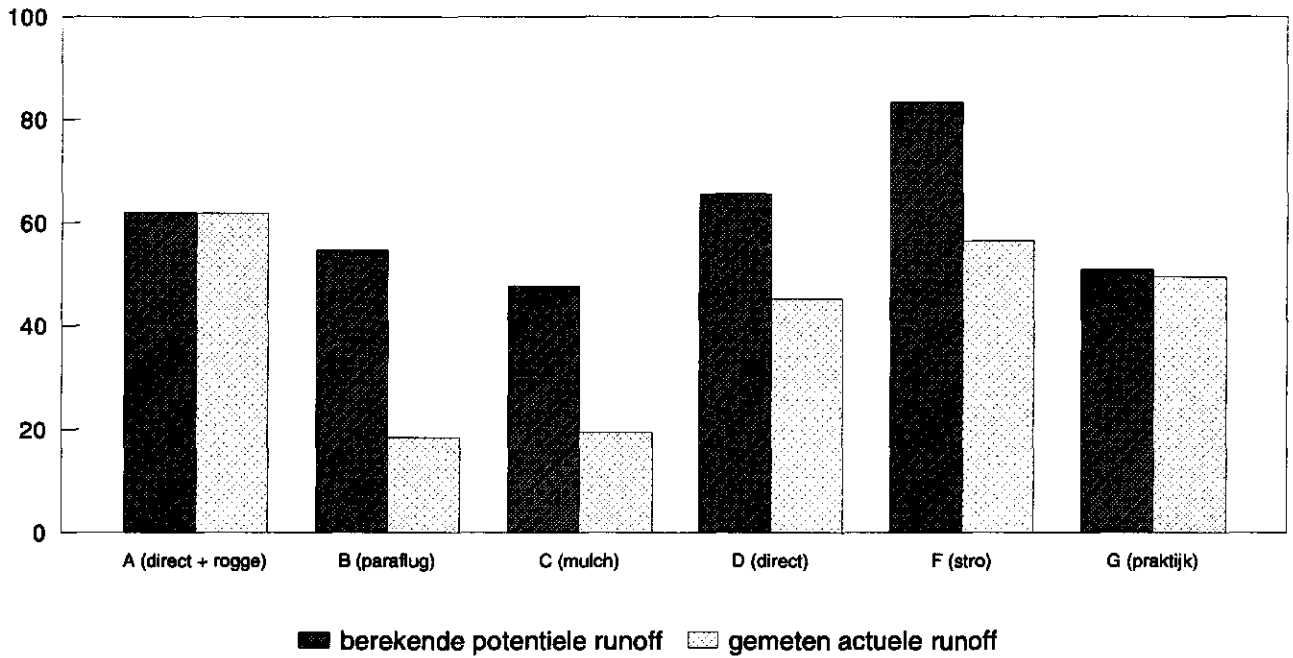


Fig. 7 Gemeten actuele runoff versus berekende potentiële runoff voor een aantal proefvelden van de proefboerderij Wijnandsrade. De metingen hebben plaatsgevonden op maïsvelden van 23 t/m 25 juni 1993 en zijn uitgevoerd met een regensimulator. Voor de berekening zijn de fysische karakteristieken van de ondergrond (vanaf 10 cm-mv) van het profiel gelijk gehouden (vanaf 10 cm-mv) en zijn voor het bodemoppervlak (0 - 10 cm-mv) de gemiddelde karakteristieken per teeltsysteem gebruikt. Het vochtgehalte van de bovenste 5 cm is gemeten en als invoer voor de berekening gebruikt.

zijn op de proefboerderij Wijnandsrade (van der Zijp, 1993), nagerekend. Hierbij zijn een aantal parameters zoals beginvochtgehalte van de ondergrond en maximale plashoogte geschat. Het resultaat van de gemeten runoff versus de berekende potentiële runoff is gegeven in figuur 7.

Uit de figuur blijkt dat de tendens in gemeten afstroming tussen de verschillende teeltsystemen eveneens in de berekende afvoer hoeveelheden terug te vinden is. In absolute zin zijn de gemeten en berekende afvoer percentages niet altijd gelijk. Dit wordt veroorzaakt door (i) een vergelijking tussen potentiële runoff en actuele runoff gegevens (in geval van een uitgesproken microreliëf kan actueel veel minder runoff optreden dan op basis van berekeningen veel te verwachten) en (ii) een tekort aan betrouwbare invoergegevens voor het model (met name initieel vochtgehalte van de verschillende lagen).

5 Conclusie

De beschrijving van een gebied met behulp van fysische bouwstenen is een schematisatie van de werkelijkheid. De schematisatie is alleen toepasbaar in de drie onderzoeksgebieden. Voor extrapolatie naar andere gebieden zullen in het algemeen aanvullende metingen en berekeningen noodzakelijk zijn.

Voor de ondergrond bleek het bodemhydrologisch model zo ongevoelig dat kon worden volstaan met een beschrijving met één fysische bouwsteen, ondanks de aanwezige textuurverschillen tussen de verschillende bodem horizonten.

De A-horizont bleek voor zowel de laag van 15 - 30 cm-mv als voor de laag van bewerkingsdiepte tot 15 cm-mv geschematiseerd te kunnen worden tot twee fysische bouwstenen: één voor akkerland en één voor boomgaard.

Het bodemoppervlak (maaiveld tot bewerkingsdiepte) kon niet geclusterd worden als gevolg van de grote structuur verschillen die optreden door toepassen van verschillende teeltsystemen. De bewerkingsdiepte van het teeltsysteem en de structuurverandering in de tijd als gevolg van zetting, verslemping e.d. zijn hiervoor verantwoordelijk.

In totaal zijn in de 3 stroomgebieden 24 fysische bouwstenen onderscheiden die te gebruiken zijn als basis voor runoff berekeningen op stroomgebiedsniveau met het LISEM model.

Literatuur

- Bannink, M.H. en J.H.M. Wösten, 1988. *Vochttransport tussen wortelzone en grondwaterspiegel*. Landinrichting 1988/28 1:23-28
- Boels D., J.B.H.M. van Gils, G.J. Veerman en K.E. Wit, 1987. *Theory and systems of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities*. Soil Sci. 126:191-199.
- Davis, L.A. and S.P. Neuman, 1983. *Documentation and user's guide: UNSAT2 Variable saturated flow model, final rep.* Colorado (U.S.A.), WWL/TM-1791-1, Water, Waste & Land, Inc., Ft. Collins.
- De Roo, A., C.J. Ritsema, J. Stolte, N.H.D.T. Cremers, M.A. Verzandvoort, P.M. Van Dijk, F.J.P.M. Kwaad, J.J.B. Bronswijk and A.C. Imenson, 1993. LISEM, a new physically-based hydrological and soil erosion model; development of model equation. In: *Experimental geomorphology and landscape ecosystem changes, memorial symposium Prof. J. De Ploey; program and abstracts*. Leuven (Belgium). Laboratory of Experimental Geomorphology.
- Klute, A. and C. Dirksen, 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: Klute, A. (ed.) *Methods of soil analysis, part 1: physical and mineralogical methods, 2^e ed.* Madison, Wisconsin U.S.A.
- Leenders, W.H., 1994. *De bodemgesteldheid van drie stroomgebieden voor het erosienormeringsonderzoek Zuid-Limburg. Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 270
- Mualem, Y., 1976. *A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media*. Water Resour. Res. 12:513-522.
- Proefboerderij Wijnandsrade, 1992. *Van onderzoek naar voorlichting, onderzoeksresultaten van de proefboerderij "Wijnandsrade" voor de akkerbouw op de lössgrond*. Wijnandsrade, Stichting proefboerderij Wijnandsrade.
- Proefboerderij Wijnandsrade, 1993. *Van onderzoek naar voorlichting löss/rivierklei, onderzoeksresultaten van het Regionaal Onderzoek Centrum Akkerbouw "Wijnandsrade"*. Wijnandsrade, Stichting proefboerderij Wijnandsrade.
- Šimunek J., T. Vogel and M.Th. Van Genuchten, 1992. *The SWMS_2D code for simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media, version 1.1*. Riverside (California, U.S.A.), U.S. Salinity Laboratory, U.S. Department of Agricultural Research Service.

Stolte J., and J.H.M. Wösten, 1991. *Soil physical schematisation of the catchment area of the river Vecht*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Report 45.

Stolte, J., G.J. Veerman and M.C.S. Wopereis, 1992. *Manual soil physical measurements, version 2.0*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch document 2.

Van Genuchten, M.Th., 1980. *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-898.

Van Genuchten M.Th., F.J. Leij and S.R. Yates, 1991. *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils*. Riverside (California, U.S.A.), U.S. Salinity Laboratory, U.S. Department of Agricultural Research Service.

Van der Zijp, M., 1993. *Onderzoek naar erosie-bestrijdende teeltsystemen voor maïs en suikerbieten 1992-1993*. Amsterdam, vakgroep fysische geografie en bodemkunde, Universiteit van Amsterdam & Stichting proefboerderij Wijnandsrade.

Wind, G.P. 1986. Capillary conductivity data estimated by a simple method. In: Rijtema, P.E. and H. Wassink (eds.), *Water in the unsaturated zone, Proceedings of the Wageningen symposium, june 1966*. IASH Gentbrugge/UNESCO Paris, Vol. 1:181-191.

Wösten J.H.M., M.H. Bannink, J.J. de Gruijter and J. Bouma, 1986. *A procedure to indentify different groups of hydraulic-conductivity and moisture-retention curves for soil horizons*. Journal of Hydrology, 86 (1986) 133-145.

Niet-gepubliceerde bronnen

Arends, A.M., 1993. *Een ondiepe geschiedenis, een onderzoek naar de bodemfysische eigenschappen van de bovengrond ten behoeve van het erosienormeringsproject*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Interne mededeling 271.

Aanhangsel 1 Mualem-Van Genuchten parameters individuele monsters

BODEMLAGEN

		θ_r (-)	θ_s (-)	α (-)	n (-)	m (-)	l (-)	$K_s(\text{fit})$ (cm/d)
A-horizont	diepte (cm-mv)							
Etzenrade	6-14	0.01	0.45	0.0034	1.555	0.357	5	10.891
		0.01	0.45	0.0034	1.535	0.349	0	1.855
		0.01	0.412	0.0026	1.579	0.367	0	0.554
		0.01	0.392	0.0019	1.648	0.393	0	0.394
		0.01	0.42	0.0044	1.337	0.252	3	6.342
	16-24	0.01	0.44	0.0032	1.599	0.375	5	5.544
		0.01	0.413	0.0026	1.541	0.351	0	0.29
		0.01	0.431	0.0045	1.523	0.343	5	9.124
		0.01	0.42	0.0031	1.443	0.307	5	1.694
		0.01	0.41	0.002	1.585	0.369	0.5	0.338
Ransdaal	6-14	0.01	0.43	0.02	1.115	0.103	-7.469	5.083
		0.01	0.45	0.0619	1.108	0.097	-5.236	66.465
		0.01	0.45	0.0094	1.203	0.169	0	1.0524
		0.01	0.404	0.0116	1.156	0.135	0	3.116
		0.01	0.42	0.0604	1.116	0.104	-10	8.132
	16-24	0.01	0.436	0.0815	1.119	0.106	0.5	115.618
		0.01	0.43	0.0378	1.089	0.082	-11.901	7.969
		0.01	0.425	0.006	1.185	0.156	-5	0.192
		0.01	0.409	0.0125	1.124	0.110	-4.859	4.106
		0.01	0.423	0.0456	1.099	0.090	-7.648	24.24
Boomgaard	6-14	0.01	0.454	0.0665	1.131	0.116	-1.471	156.395
		0.01	0.451	0.0741	1.129	0.114	-1.574	179.636
		0.01	0.379	0.0028	1.233	0.189	0	0.209
		0.01	0.395	0.0019	1.491	0.329	0	0.021
		0	0.396	0.0019	1.226	0.184	5	0.116
	16-24	0	0.396	0.0018	1.591	0.371	5	0.042
		0.01	0.4	0.0091	1.171	0.146	0	3.39
		0.01	0.384	0.0016	1.545	0.353	0	0.028
		0	0.374	0.0015	1.355	0.262	5	0.145
		0.01	0.415	0.0022	1.337	0.252	-1.676	0.208
Catsop	6-14	0.01	0.447	0.023	1.268	0.211	0	0.094
		0.01	0.409	0.0072	1.144	0.126	-4.04	3.294
		0.01	0.412	0.0231	1.078	0.072	-10	6.452
		0.01	0.41	0.0057	1.369	0.270	0	0.711
		0.01	0.394	0.0036	1.558	0.358	0	0.137

vervolg aanhangsel 1

		θ_r (-)	θ_s (-)	α (-)	n (-)	m (-)	l (-)	$K_s(\text{fit})$ (cm/d)	
A-horizont	diepte (cm-mv) 16-24	0.01	0.426	0.0058	1.473	0.321	0	2.411	
		0.01	0.399	0.0043	1.455	0.313	0	0.585	
		0.01	0.315	0.0028	1.845	0.458	-0.558	0.034	
		0.01	0.409	0.0032	1.491	0.329	0	0.172	
		0.01	0.407	0.0184	1.18	0.153	-6.217	0.879	
		0.01	0.406	0.0196	1.212	0.175	-0.397	2.568	
Löss (colluvium) Etzenrade	36-44	0.01	0.429	0.0309	1.159	0.137	0	78.86	
		0.01	0.4	0.0146	1.218	0.179	0	12.347	
		0.01	0.4	0.0075	1.192	0.161	0	3.306	
		0.01	0.417	0.0293	1.129	0.114	-1.752	37.989	
Ransdaal	40-48	0.01	0.4	0.0107	1.238	0.192	0	8.574	
		0.01	0.41	0.0138	1.19	0.160	-0.677	11.36	
	36-44	0.01	0.409	0.0114	1.166	0.142	-1.278	3.033	
		0.01	0.42	0.01	1.202	0.168	-3	2.041	
		0.01	0.42	0.0085	1.199	0.166	0	1.741	
		0.01	0.43	0.0067	1.237	0.192	-1.126	1.068	
Boomgaard	36-44	0.01	0.411	0.0038	1.519	0.342	0	0.1	
		0.01	0.422	0.0072	1.285	0.222	0	1	
	56-64	0.01	0.385	0.0027	1.972	0.493	0	0.149	
		0.01	0.39	0.0046	1.358	0.264	0	0.584	
	76-84	0.01	0.391	0.0042	1.318	0.241	-1.473	0.414	
		0.01	0.387	0.0053	1.213	0.176	-4.496	0.532	
Catsop	36-44	0.01	0.41	0.0129	1.238	0.192	0	7.496	
		0.01	0.405	0.0166	1.252	0.201	3	37.32	
		0.01	0.38	0.041	1.719	0.418	0	0.24	
		0.01	0.404	0.004	1.916	0.478	3	0.884	
		0.01	0.473	0.0022	1.546	0.353	5	0.084	
		0.01	0.42	0.0129	1.284	0.221	0	2.304	
		56-64	0.01	0.41	0.0056	1.424	0.298	3	2.744
			0.01	0.41	0.0107	1.341	0.254	3	12.201
			0.01	0.42	0.011	1.346	0.257	3	18.244
			0.01	0.42	0.008	1.371	0.271	3	7.671
	80-88	0.01	0.395	0.0127	1.28	0.219	0	4.023	
		0.01	0.4	0.0082	1.318	0.241	3	7.648	
		0.01	0.43	0.0056	1.509	0.337	3	11.991	
		0.01	0.43	0.0045	1.66	0.398	0	0.985	
		0.01	0.42	0.0044	1.438	0.305	0	0.906	
		0.01	0.41	0.0062	1.401	0.286	0	1.819	
	84-92	0.01	0.43	0.0067	1.561	0.359	3	5.199	
		0.01	0.43	0.0067	1.576	0.365	0	1.345	
	Löss (in situ) Etzenrade	90-98	0.01	0.387	0.0017	1.362	0.266	0	0.233
			0.01	0.377	0.0029	1.178	0.151	-0.007	2.021
Boomgaard	80-88	0.01	0.408	0.0025	1.345	0.257	0	0.3	
		0.01	0.409	0.0017	1.407	0.289	2	0.169	
Briklaag Etzenrade	36-44	0.01	0.402	0.01	1.156	0.135	-1.169	11.346	
		0.01	0.4	0.0055	1.238	0.192	5	3.349	
	56-64	0.01	0.414	0.0052	1.244	0.196	0	1.699	
		0.01	0.405	0.0067	1.186	0.157	0	5.012	
	76-84	0.01	0.402	0.0025	1.459	0.315	5	1.285	
		0.01	0.417	0.008	1.187	0.158	0	5.982	

vervolg aanhangsel 1

		θ_r (-)	θ_s (-)	α (-)	n (-)	m (-)	l (-)	$K_s(\text{fit})$ (cm/d)
A-horizont	diepte (cm-mv)							
Boomgaard	36-44	0.01	0.459	0.122	1.106	0.096	-3.418	184.959
		0.01	0.417	0.0204	1.132	0.117	1	24.867
		0.01	0.437	0.0338	1.114	0.102	-10	13.602
		0.01	0.443	0.06	1.115	0.103	-7.405	68.825
Kleefaarde								
Ransdaal	26-34	0.01	0.446	0.0623	1.094	0.086	-6.297	51.118
		0.01	0.396	0.0033	1.212	0.175	-0.121	0.258
	36-44	0.01	0.43	0.0311	1.148	0.129	-5	9.345
		0.01	0.405	0.0066	1.247	0.198	0	2.64
Krijt								
Ransdaal	56-64	0.01	0.494	0.0165	1.444	0.307	0	11.546
	56-64	0.01	0.498	0.0188	1.345	0.257	0	12.721

BODEMOPPERVLAK (monster van 0-8 cm-mv)

		θ_r (-)	θ_s (-)	α (-)	n (-)	m (-)	l (-)	$K_s(\text{fit})$ (cm/d)
proefvelden								
Teeltsysteem A4 (zonder zaaibed-bereiding)		0	0.34	0.0316	1.226	0.185	-2	20
		0.01	0.342	0.0265	1.239	0.193	0	53.07
		0.01	0.319	0.0156	1.319	0.242	0	31.076
Teeltsysteem B5 (parapflug)		0.01	0.329	0.0118	1.307	0.235	-0.672	7.805
		0.01	0.358	0.0533	1.278	0.217	0	523.551
Teeltsysteem C2 (met zaaibed-bereiding)		0.01	0.351	0.0376	1.237	0.192	-0.919	113.734
		0.01	0.348	0.0242	1.283	0.221	-2.137	34.79
Teeltsysteem D3 (direct zaai)		0.01	0.34	0.0136	1.298	0.230	0	9.74
		0.01	0.328	0.0067	1.376	0.273	0	2.533
		0.01	0.34	0.0123	1.385	0.278	-0.752	12.733
		0.01	0.35	0.0211	1.307	0.235	1	29.118
Teeltsysteem F7 (stro)		0.01	0.36	0.0142	1.308	0.235	-0.704	9.928
		0.01	0.352	0.0313	1.273	0.215	-1.452	114.024
		0.01	0.32	0.0141	1.448	0.310	0	8.843
		0.01	0.36	0.0272	1.298	0.230	0	112.792
Teeltsysteem G6 (praktijk)		0.01	0.37	0.0316	1.226	0.210	2.399	749.323
		0.01	0.355	0.0235	1.272	0.214	0	10
		0.01	0.322	0.0061	1.375	0.273	-1.505	1.364
Praktijkpercelen								
Gras		0.01	0.328	0.0071	1.295	0.228	0	1.353
		0.01	0.314	0.0075	1.32	0.242	-1.363	0.94
		0.01	0.386	0.0047	1.322	0.244	0	0.373
		0.01	0.372	0.0054	1.339	0.253	0	0.375
		0.01	0.37	0.0048	1.562	0.360	0	0.428
		0.01	0.376	0.0046	1.243	0.195	0	5.632
		0.01	0.358	0.0134	1.178	0.151	-1.954	4.952
		0.01	0.338	0.004	1.445	0.308	0	0.348
		0.01	0.323	0.0127	1.291	0.225	0	6.38
		0.01	0.338	0.0075	1.35	0.259	0	1.924

vervolg aanhangsel 1

		θ_r (-)	θ_s (-)	α (-)	n (-)	m (-)	l (-)	$K_s(\text{fit})$ (cm/d)
Maïs		0.01	0.374	0.0406	1.286	0.222	-1.872	41.401
		0.01	0.296	0.0212	1.292	0.226	0	20.126
		0.01	0.336	0.0093	1.415	0.293	0	15.167
		0.01	0.34	0.0112	1.519	0.342	-2.901	4.104
		0.01	0.308	0.0169	1.338	0.252	-2.919	8.021
		0.01	0.329	0.0256	1.302	0.232	0.5	181.487
Winter tarwe		0.01	0.315	0.0064	1.586	0.370	0	3.01
		0.01	0.316	0.0067	1.424	0.298	0	2.671
		0.01	0.4	0.0084	1.366	0.268	0	4.476
		0.01	0.431	0.0057	1.368	0.269	0	6.81
		0.01	0.45	0.0062	1.351	0.260	0	7.979
		0.01	0.4	0.0024	1.621	0.383	5	1
		0.01	0.45	0.0072	1.26	0.206	0	17.05
		0.01	0.43	0.0046	1.327	0.246	0.5	4.528
Suikerbieten		0.01	0.348	0.0654	1.315	0.239	-0.731	90.236
		0.01	0.378	0.0558	1.242	0.195	0	338.13
Wielsporen	maïs	0.01	0.335	0.0068	1.581	0.368	0	3.743
		0.01	0.347	0.0071	1.534	0.348	0	2.934
	tarwe	0.01	0.307	0.004	1.671	0.402	0	0.644
	suikerbieten	0.01	0.329	0.02	1.148	0.129	0	18.176
Nagewas gras		0.01	0.41	0.0043	1.501	0.334	2	1.169
		0.01	0.445	0.006	1.436	0.304	0	3.286
		0.01	0.41	0.0038	1.505	0.336	-0.524	0.14
		0.01	0.41	0.0053	1.459	0.315	-0.34	0.365
		0.01	0.42	0.0074	1.309	0.236	0	0.944
		0.01	0.459	0.0194	1.18	0.153	-4.331	4.389
Boomgaard		0.01	0.43	0.0027	1.299	0.230	-0.004	0.205
		0.01	0.428	0.0035	1.24	0.194	0	0.826
		0.01	0.429	0.0023	1.223	0.182	-3.719	0.086
		0.01	0.432	0.002	1.334	0.250	-0.211	0.084
		0.01	0.465	0.0042	1.208	0.172	-2.434	0.403
		0.01	0.47	0.0046	1.171	0.146	-5	0.457
Stoppelbewerking		0.01	0.46	0.0548	1.169	0.145	0.5	263.595
		0	0.44	0.0369	1.165	0.142	0	63.334
		0.01	0.457	0.2034	1.101	0.092	-4.04	822.489
		0.01	0.409	0.0342	1.131	0.116	-5.28	5.799
		0.01	0.415	0.0428	1.137	0.120	-7.724	5.772
		0.01	0.415	0.0521	1.12	0.107	-10	6.141

Aanhangsel 2 Gemeten verzadigde doorlatendheden

BODEMLAGEN

	diepte (cm-mv)	Ks (cm/d)					
A horizont							
Etzenrade	6-14	302.7	134.0	534.4	843.2	11.4	18.8
Ransdaal		2497.3	840.3	59.0	2.1	1.7	210.2
Boomgaard		0.1	1.2	0.1	0.1	1513.8	
Catsop		28.9	60.6	19.7	1591.4	17.8	
Etzenrade	16-24	122.2	471.5	254.9	1364.8	1364.8	
Ransdaal		38.2	1469.7	0.1	343.0	133.5	0.7
Boomgaard		23.8	195.0	0.1	0.7	12.8	0.1
Catsop		655.0	8.1	7.2	1.5	12.7	
Löss (colluvium)							
Etzenrade	36-44	176.7	557.0	117.9	494.5		
Ransdaal	40-48	262.0	166.0				
	36-44	140.8	65.5	1145.9	110.1		
Boomgaard	36-44	0.6	41.8				
	56-64	22.2	44.4				
	76-84	11.3	8.4	389.3			
Catsop	36-44	57.6	255.2	8.5			
	56-64	58.2	56.0	176.2	255.3		
	80-88	22.7	18.0				
	84-92	21.7	23.3				
Löss (in situ)							
Etzenrade	90-98	71.0	7.3				
Boomgaard	80-88	389.3					
Briklaag							
Etzenrade	36-44	117.9	494.5				
	56-64	355.0	499.0				
	76-84	53.2	9.4				
Boomgaard	36-44	1528.2	348.5	1019.8			
Kleefarde							
Ransdaal	26-34	41.6	0.1				
	36-44	117.9	6.7				
Krijt							
Ransdaal	56-64	358.9	321.9				

vervolg aanhangsel 2

BODEMOPPERVLAK (monsters van 0 - 8 cm-mv)

	Ks (cm/d)					
proefvelden						
Teetsysteem A4 (zonder zaaibereiding)	82.1	1056	1364.1			
Teeltsysteem B5 (parapflug)	425.8	106.1				
Teeltsysteem C2 (met zaaibereiding)	225.7	101.0				
Teeltsysteem D3 (direct zaai)	439.5	186.1	60.7			
Teeltsysteem F7 (stro)	238.1	116.2	40.6			
Teeltsysteem G6 (praktijk)	66.1	378.3	77.1			
praktijkpercelen						
Gras	106.2	21.3	5.7	13.5	71.5	
	78.3	23.7	231.0	16.2	362.6	
Mais	288.6	40.5	218.3	82.0	319.5	48.1
Wintertarwe	81.9	44.5	8.0	1657.3	767.7	
Suikerbieten	1296.6	1544.9				
Wielsporen maïs	363.8	326.5				
Wielsporen tarwe	274.1					
Wielsporen suikerbieten	319.5					
Nagewas gras	27.8	178.8	263.5	60.0	492.8	18.2
Boomgaard	2.4	54.0	0.1	1196.4	0.1	0.1
Stoppelbewerking	831.3	2755.4	3563.8	257.0	160.9	

Aanhangsel 3 Berekende potentiële runoff

bodemplaa	2 jaarlijkse zomerbui				2 jaarlijkse winterbui				25 jaarlijkse zomerbui				25 jaarlijkse winterbui			
	aantal	gem (mm)	min (mm)	max (mm)	aantal	gem (mm)	min (mm)	max (mm)	aantal	gem (mm)	min (mm)	max (mm)	aantal	gem (mm)	min (mm)	max (mm)
A hor 16-24 cm	23	22.1	0.0	60.0	23	70.0	28.6	89.5	10	48.8	23.3	65.4	10	50.7	30.1	77.5
briklaa	10	14.1	0.0	24.8	10	57.6	5.4	78.8	5	26.9	15.3	42.8	5	29.4	4.2	70.3
colluvium	33	8.4	0.0	43.7	33	58.5	0.3	85.0	2	29.2	21.6	36.9	2	29.2	21.6	36.9
in situ	4	47.5	42.4	52.4	4	84.7	82.4	85.9	3	31.7	12.7	52.8	3	31.7	12.7	52.8
krijt	2	0.0	0.0	0.0	2	20.8	17.5	24.1								
kleefaarde	4	20.1	4.5	54.2	4	61.2	28.8	89.1								
A hor 6-14 cm	23	22.4	0.0	64.5	23	68.1	0.0	89.8								
praktijkpercelen																
A hor 0-8 cm	6	47.9	42.5	54.2	6	85.3	78.6	88.8								
boomgaard	5	6.5	0.0	12.8	5	6.9	3.9	12.1								
tarwe (winter)	6	11.0	0.0	18.8	6	71.3	50.5	86.2								
nagewas gras	6	10.8	0.0	28.1	4	64.1	50.9	71.8								
stoppel mais	10	31.5	9.8	53.8	10	29.9	4.8	64.4								
gras	6	4.4	0.0	18.8												
wielspoor	5	38.4	31.1	50.7												
suikerbiet	3	11.2	0.0	0.0												
tarwe	4	33.1	29.9	40.5												
proefvelden																
A hor 0-8 cm	3	3.3	0.0	0.0	3	28.2	19.9	39.4								
A (direct+rogge)	2	0.0	0.0	0.0	2	11.2	4.2	18.2								
C (mülich)	3	16.3	0.0	39.8	2	51.8	43.6	59.9								
G (gangbaar)	2	0.0	0.0	0.0	2	11.9	6.4	17.4								
B (parapflug)	4	19.9	12.8	32.0	4	35.7	16.1	45.8								
D (direct)	3	12.4	0.0	6.0	3	14.1	1.3	38.6								
F (stro)																

Aanhangsel 4 Bouwsteen codes

BODEMOPPERVLAK

	na zaai (max 1 mnd ¹)	voorjaar	zomer	na stoppel bewerking/oogst (max 1 mnd ¹)	winter	wielspoor
praktijkpercelen:						
tarwe	AS_1	SpCW	SuCW	AHT	WW	WiSb
suikerbiet	AS_1	Sb	Sb	n.v.t.	PA	
maïs	AS_1	SpCM	SuM	AHT	STW	
aardappelen						
nagewas gras						
nagewas rogge						
nagewas mosterd						
proefvelden:						
G (gangbaar)	AS_1					AGGr
A (direct+rogge)	AS_2					AGGr ²
B (parapflug)	AS_3					AGGr ²
C (mülch)	AS_4					STW
D (direct)	AS_5					PARW
F (stro)	AS_6					PARW
						PA
						NA

-----niets over bekend, zelfde gegevens als suikerbieten-----

hele jaar:

grasland 0 - 15 cm -mv : gras
boomgaard 0 - 15 cm -mv: top_A_Or

BODEMLAGEN

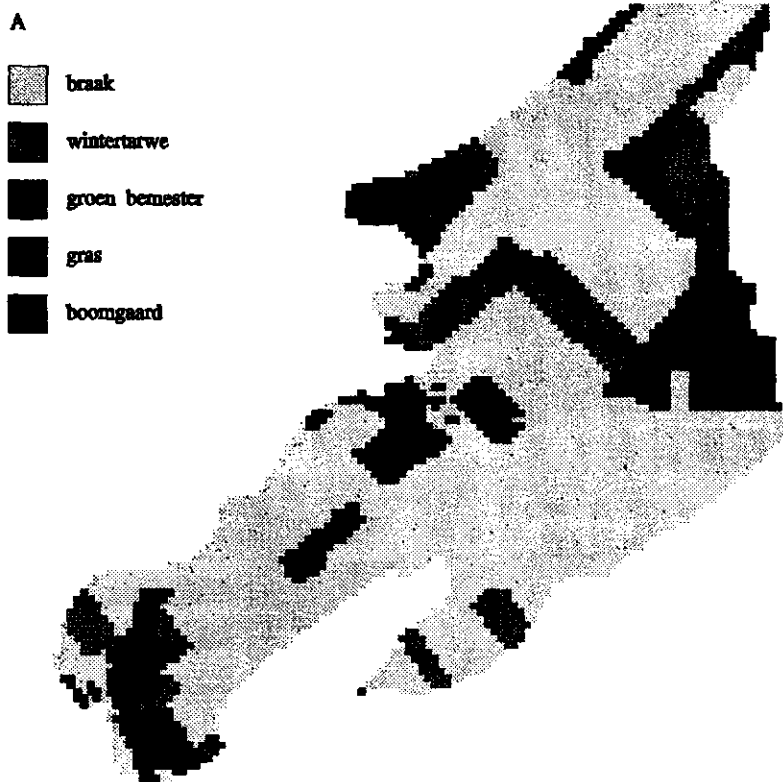
boomgaard 15 - 30 cm -mv : sub_A_Or
rest gronden 15 - 30 -mv : sub_A
alle gronden 30 - 100 cm -mv : sub_soil

- 1 Afhankelijk van weersituatie, bij veel regen eerder in volgende tijdsstoestand.
- 2 Niet bemonsterd, wordt fysisch gelijk verondersteld met nagewas gras.

Aanhangsel 5 Mualem-Van Genuchten parametersets van de fysische bouwstenen

bouwsteen	θ_r	θ_s	α	n	m	l	$K_s(\text{fit})$	$K_s(\text{gemeten})$
ww	0.01	0.4	0.0024	1.621	0.383	5	1	1657.3
sub_A	0.01	0.425	0.006	1.185	0.156	-5	0.192	133.5
top_A_or	0.01	0.432	0.002	1.334	0.250	-0.211	0.084	1196.4
sub_A_or	0.01	0.447	0.023	1.268	0.211	0	0.094	195
AGGr	0.01	0.42	0.0074	1.309	0.236	0	0.944	60
AHT	0.01	0.46	0.0548	1.169	0.145	0.5	263.595	2755.4
sub_soil 0.01	0.42	0.0129	1.284	0.221	0	2.304	56	
AS_2	0.01	0.319	0.0156	1.319	0.242	0	31.076	1056
PARW 0	0.34	0.0316	1.226	0.185	-2	20	82.1	
AS_3	0.01	0.329	0.0118	1.307	0.235	-0.672	7.805	106.1
AS_4	0.01	0.348	0.0242	1.283	0.221	-2.137	34.79	101
AS_5	0.01	0.35	0.0211	1.307	0.235	1	29.118	186.1
PA	0.01	0.328	0.0067	1.376	0.273	0	2.533	60.7
AS_6	0.01	0.352	0.0313	1.273	0.215	-1.452	114.024	116.2
NA	0.01	0.36	0.0142	1.308	0.235	-0.704	9.928	238.1
AS_1	0.01	0.355	0.0235	1.272	0.214	0	10	77.1
STW	0.01	0.322	0.0061	1.375	0.273	-1.505	1.364	66.1
gras	0.01	0.323	0.0127	1.291	0.225	0	6.38	362.6
SpCM	0.01	0.374	0.0406	1.286	0.222	-1.872	41.401	288.6
SuM	0.01	0.347	0.0071	1.534	0.348	0	2.934	48.1
SpCW	0.01	0.316	0.0067	1.424	0.298	0	2.671	176.7
SuCW	0.01	0.4	0.0084	1.366	0.268	0	4.476	767.7
Sb	0.01	0.348	0.0654	1.315	0.239	-0.731	90.236	1296.6
WtSb	0.01	0.329	0.02	1.148	0.129	0	18.176	319.5

Aanhangsel 6 Weergave van verdeling van fysische profielen voor stroomgebied Etzenrade in winter- en zomerperiode



0 500 m

Fysische profielen stroomgebied Etzenrade. A is winterperiode, B is zomerperiode. De fysische profielen zijn samengesteld op basis van teeltsysteem (is structuur verschil) en zijn opgebouwd uit een aantal fysische bouwstenen. Dezelfde kleur staat voor hetzelfde fysisch profiel (zie gras in zomer- en winterperiode).