

---

# Oppervlakte-afvoer: een combinatie van helling, bodem, gewas en regen

Jannes Stolte  
Coen Ritsema  
Henk Wösten

---

## Introductie

Belasting van het oppervlaktewater met bestrijdingsmiddelen en meststoffen is een veelvuldig onderwerp van onderzoek. Er worden waterbalansen opgesteld en metingen gedaan om de belasting te kwantificeren (o.a. Thunnissen, 1987). Ook worden modelstudies uitgevoerd om de belasting te voorspellen, waarbij in het algemeen meteorologische gegevens die gebaseerd zijn op dag- of decadegemiddelden worden gebruikt. Wanneer met deze gegevens gerekend wordt, zal er in het algemeen geen oppervlakte-afvoer berekend worden, omdat de intensiteit van de neerslag afgevlakt wordt over deze tijdsperiode. Meinardi e.a. (1998a, 1998b), Meinardi en Schotten (1999) pogen door berekening van de grondwateraanvulling de oppervlakkige afstroming te voorspellen voor verschillende grondsoorten in Nederland. Dit geeft een ruwe indicatie wat er van de Nederlandse bodems op jaarbasis kan afspoelen, waarbij de oppervlakkige afstroming is gedefinieerd als stroming over het maaiveld, interflow, en als een combinatie van onverzadigde en verzadigde stroming bij het freatisch vlak. Deze mix van termen geeft een wat verwarrend beeld in genoemde publicaties, wat in een reactie van Querner (1999) ook aangegeven wordt.

Oppervlakte-afvoer ontstaat tijdens een regen gebeurtenis waarbij de bodem verzadigd is of waarbij de regenintensiteit de infiltratiecapaciteit van de bodem overschrijdt. Het probleem van oppervlakte-afvoer kan dan ook niet benaderd worden als een *jaargemiddeld* probleem maar moet als een *buispecifiek* probleem gezien worden. In Nederland treedt zowel in de winter als in voorjaar/zomer oppervlakte-afvoer op (Kwaad, 1991). In de winter gaat het meestal om langdurige, niet-intensieve regenbuien, terwijl in het voorjaar/zomer oppervlakte-afvoer kan ontstaan door korte, heftige (onweers-) buien. In relatie tot verontreiniging van oppervlaktewater door oppervlakte-afvoer is met name de voorjaars/zomer periode van belang aangezien dan de landbouwkundige bewerkingen plaatsvinden (o.a. toediening pesticiden en nutriënten).

Om een aanzet te geven de oppervlakte-afvoer te kwantificeren, presenteren wij in dit artikel landsdekkende berekeningen van de potentiële oppervlakte-afvoer en daarvan afgeleid een schatting van de actuele oppervlakte-afvoer. De potentiële oppervlakte-afvoer is hierbij gedefinieerd als neerslag min de infiltratie. Berekeningen zijn uitgevoerd voor drie

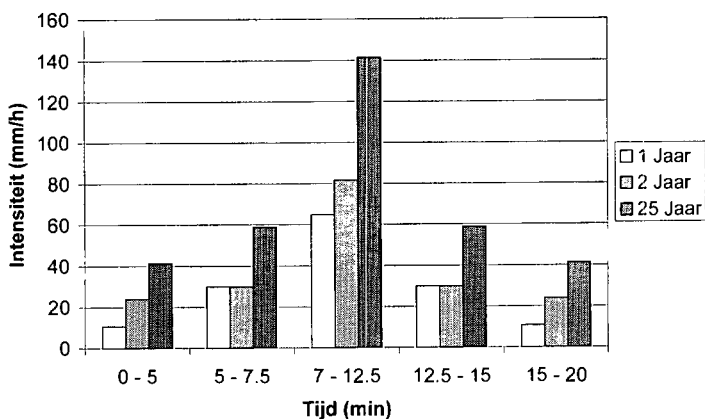
---

Jannes Stolte, Coen Ritsema en Henk Wösten zijn werkzaam bij Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Afdeling Bodem en Landgebruik, Postbus 47, 6700 AC Wageningen, telefoon: (0317) 47 42 86, fax: (0317) 41 90 00, e-mail: j.stolte@alterra.wag-ur.nl.

buien met verschillende herhalingsduren en voor verschillende vochttoestanden van de bodem. Het doel van deze berekeningen is om (i) inzicht te krijgen in de mate van potentiële oppervlakte-afvoer, (ii) de regionale verspreiding van potentiële oppervlakte-afvoer vast te stellen en (iii) een methode te introduceren die de actuele oppervlakte-afvoer berekent.

## Berekeningen potentiële oppervlakte-afvoer

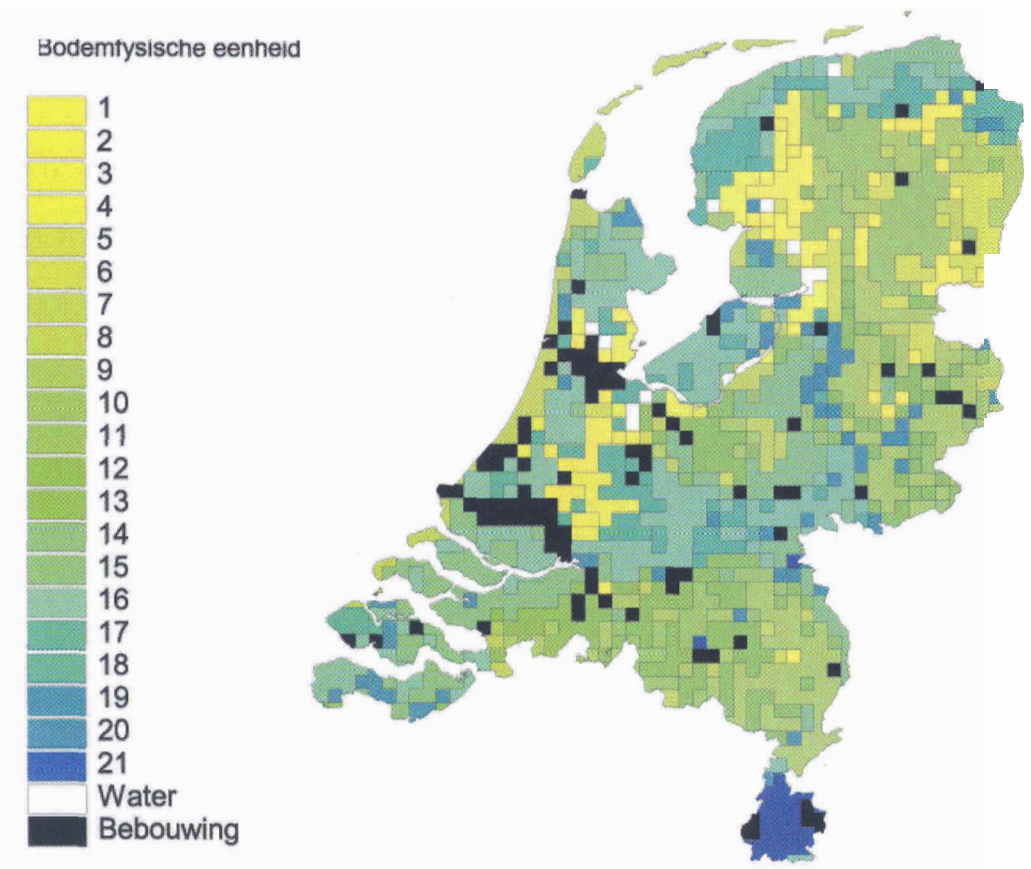
Potentiële oppervlakte-afvoer en infiltratie berekening vereisen het rekenen met kleine tijdstappen. Dit is b.v. mogelijk met het bodemwater-stromingsmodel SWAP. Wij hebben een drietal buikarakteristieken gebruikt om de potentiële oppervlakte-afvoer te berekenen, namelijk karakteristieke voorjaarsbuien met een herhalingsduren van 1, 2 en 25 jaar. De buikarakteristieken zijn weergegeven in figuur 1.



**Figuur 1:** Karakteristieken van de voorjaarsbuien. A heeft een frequentie van eens per jaar, B eens per 2 jaar en C eens per 25 jaar. In totaal valt er in 20 minuten 9,7 mm bij bui A, 13,3 bij B en 23,6 bij C (naar Buis-hands en Velds (1980) en Heidemij (1988)).

Berekeningen zijn uitgevoerd voor 21 bodemfysische eenheden zoals die zijn gedefinieerd in de bodemfysische schematisatie van Nederland (Wösten e. a., 1988). Bij deze schematisatie zijn de bodemeenheden van de bodemkaart 1 : 250 000 (Steur e. a., 1985) gegeneraliseerd tot 21 eenheden op grond van verwantschap in bodemkundige en bodemfysische kenmerken. Aan de horizonten in de profielschetsen van de 21 eenheden zijn bodemfysische karakteristieken (waterretentie en doorlatendheid) uit de Staringreeks (Wösten e. a., 1994) toegekend. Het resultaat van de schematisatie is de bodemfysische-eenhedenkaart van Nederland (figuur 2) op een schaal van 1 : 1 000 000 met celgroottes van 5000 m bij 5000 m.

Voor de verschillende profielen is het initieel bodemvochtgehalte gevarieerd door met initiële drukhoogten te rekenen van -50, -100, -200, -500 en -1000 cm. In de berekening is uitgegaan van 120 cm dikke profielen, met vrije uitstroming als onderrandvoorwaarde.

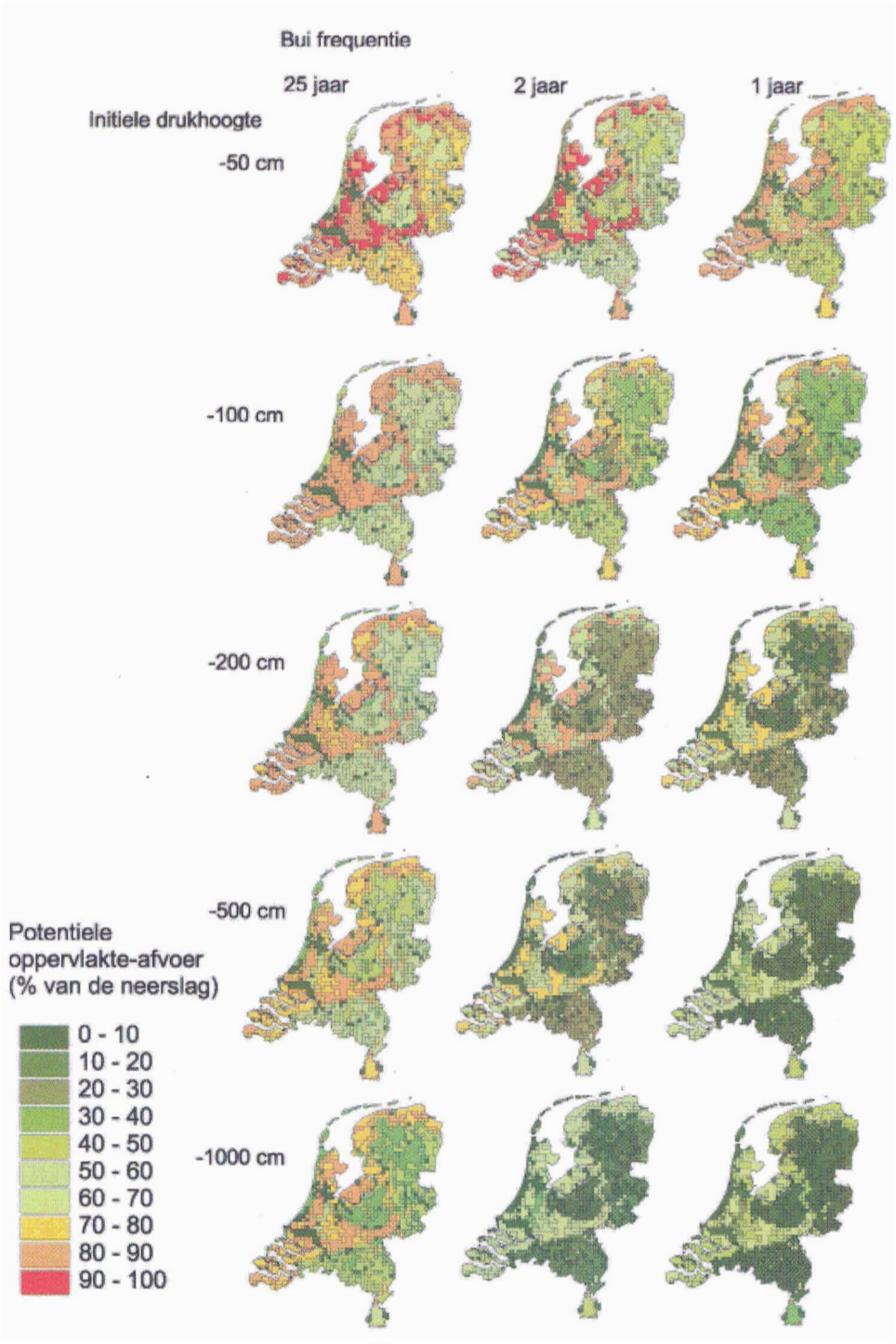


**Figuur 2:** Bodemfysische-eenhedenkaart van Nederland (naar Wösten, 1988)

Voor de berekening van de potentiële oppervlakte-afvoer is van de totale neerslag de berekende infiltratie afgetrokken. De potentiële oppervlakte-afvoer kan op het land blijven staan als plassen en uiteindelijk weer infiltreren na de bui, of kan oppervlakkig afstromen naar sloten en greppels. Dat laatste proces is afhankelijk van o.a. de bodemruwheid en maaiveldmorfologie. Zo hebben wij in een studie naar afvoer in Limburg voor een zomerperiode een oppervlakte-afvoer/neerslag percentage op buibasis van bijna 50% berekend (De Roo e. a., 1995), en in een studie in Groesbeek ongeveer 20% (Stolte e. a., 1999). Dit zijn resultaten op stroomgebiedsniveau, waarbij opgemerkt dient te worden dat effecten op perceleniveau zelfs groter kunnen zijn.

### **Resultaat potentiële oppervlakte-afvoerberekeningen**

Het resultaat van de berekeningen is te zien in figuur 3, waar kaarten gepresenteerd zijn van Nederland volgens de indeling van de bodemfysische eenhedenkaart in een 5000 x 5000 m grid.



**Figuur 3:** Berekeningsresultaten van de potientiele oppervlakte-afvoer voor Nederland. Getoond worden 3 neerslaggebeurtenissen en 5 verschillende initiële vochtgehalten van de bodem in termen van drukhoogte. Basis van de berekening is de bodemfysische eenhedenkaart van Nederland (Wösten e. a., 1988).

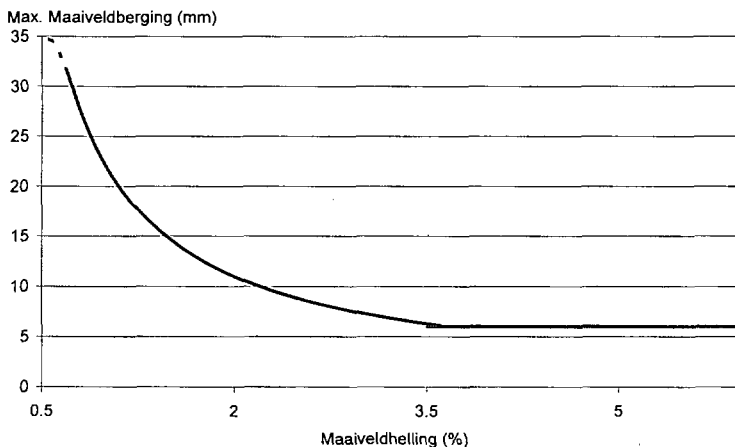
Het blijkt dat bij de laagfrequente bui (25 jaars-frequentie) bij een droog initieel profiel (-1000 cm drukhoogte) bij de klei- en veengronden meer dan 60% van de neerslag potentieel voor oppervlakte-afvoer beschikbaar is. Voor de zandgronden is dit tussen de 30 en 50%. Ook bij de hoogfrequente bui (1 jaars-frequentie) blijft bij een droog profiel nog altijd water op het maaiveld achter (6–20% voor de zandgronden en 35–70% voor de klei- en veengronden).

### Schatting actuele oppervlakte-afvoer

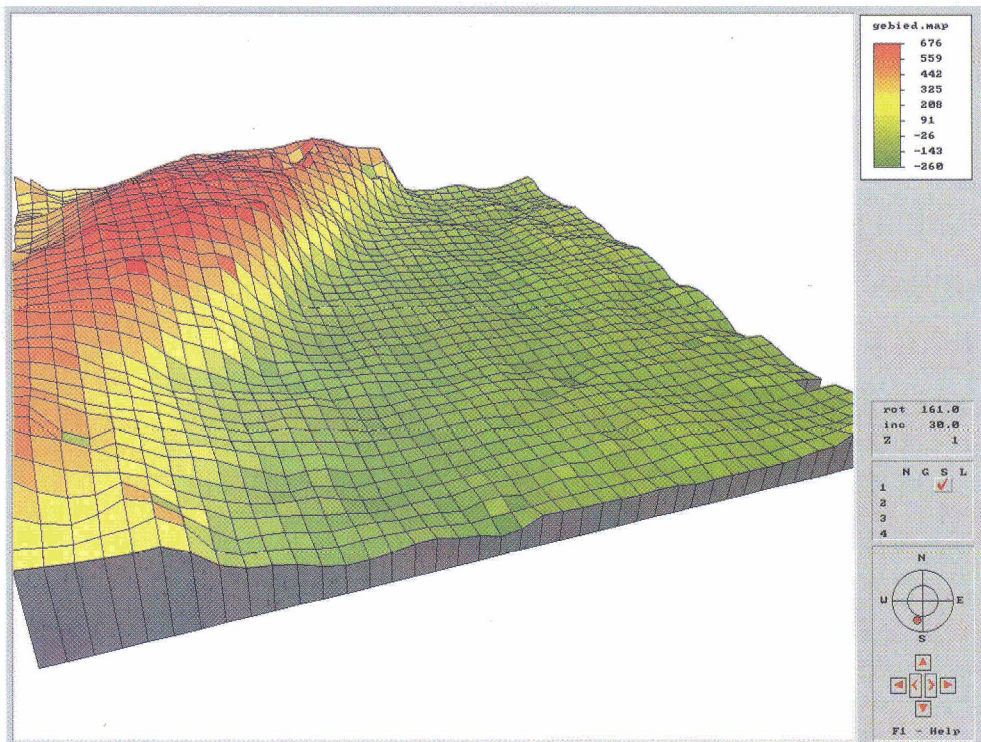
Van de berekende laag die op het maaiveld achterblijft tijdens en na een bui zal een groot deel alsnog infiltreren. Hoeveel er daadwerkelijk als oppervlakte-afvoer in het oppervlaktewater terecht zal komen is afhankelijk van de toestand van het gewas (o.a. gewasdichtheid), de kenmerken van het bodemoppervlak (o.a. bodemruwheid) en van de hellingshoek van het perceel. Door Huinink (1986) is een empirische vergelijking opgesteld om de plasvorming en de oppervlakte-afvoer van bolle percelen te berekenen (figuur 4). Die empirische vergelijking is gebaseerd op meetgegevens van een proefveld met gras (Oosterom, 1979).

Wanneer we nu de maaiveldhelling kennen en de empirische vergelijking loslaten op onze berekende potentiële oppervlakte-afvoer, kunnen we een schatting maken van de actuele oppervlakte-afvoer over het bodemoppervlak. Een bron voor maaiveld hoogte is b.v. het Actueel Hoogtebestand Nederland, uitgegeven door Rijkswaterstaat. In figuur 5 is een afgeleide hoogtekaart van dit bestand te zien voor een deel van Schouwen-Duiveland van ongeveer 4 x 4 km, verdeeld in raster cellen van 100 x 100 m. Het maximale hoogteverschil in dit gebied is ongeveer 8 m, en de steilste helling is ongeveer 3,5 %.

Wanneer we nu de empirische vergelijking van Huinink (1986) loslaten op dit gebied, en ervan uitgaan dat het bodem- en gewastype (gras) voor het gebied overal gelijk is, krijgen we een geschatte actuele oppervlakte-afvoer per hellingspercentage. Hiertoe zijn de hellingspercentages in klassen ingedeeld met bijbehorende gemiddelde berging (tabel 1).



Figuur 4: Verband tussen maximale maaiveldberging en maaiveldhelling. Naar Huinink (1986).

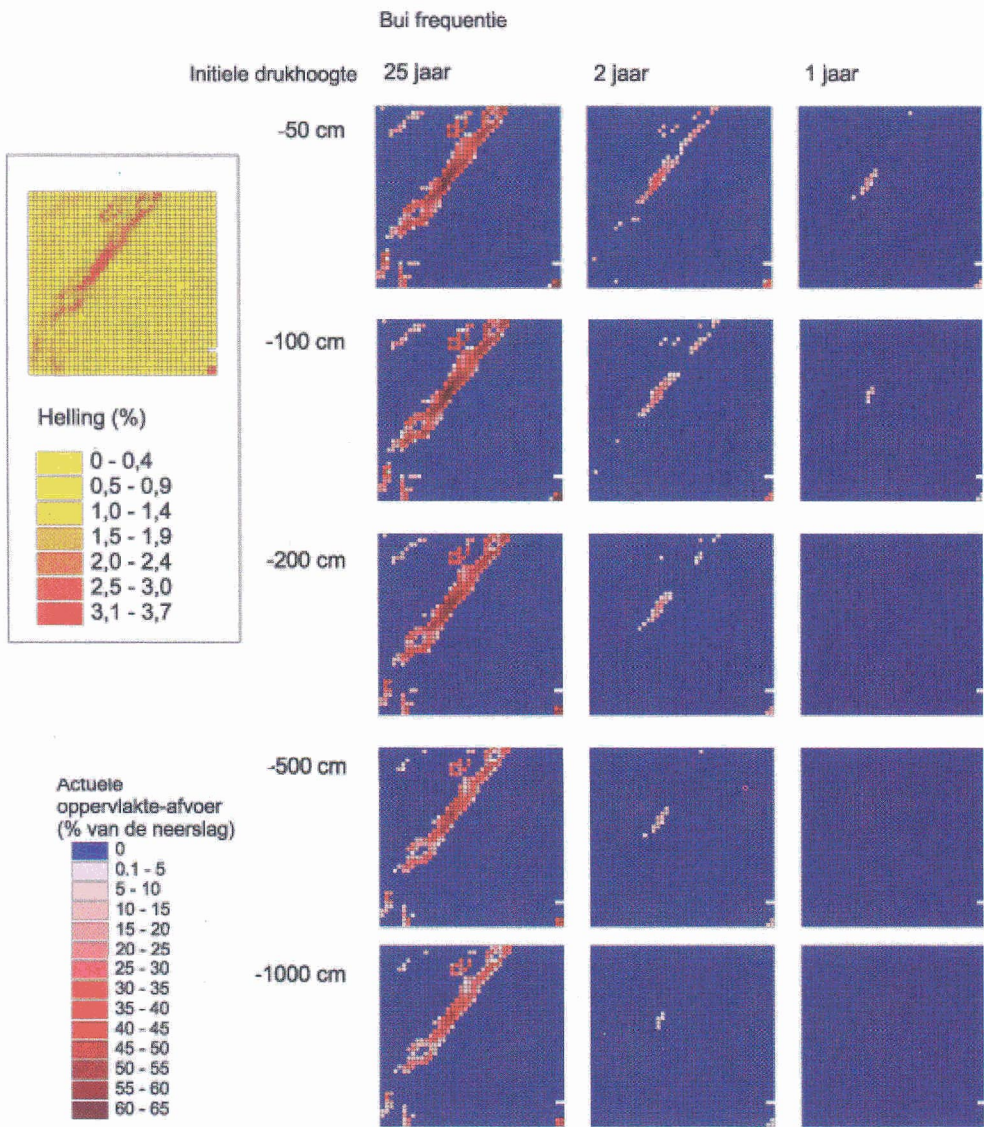


**Figuur 5:** Digitaal hoogtemodel van het voorbeeldgebied voor schaffing van de actuele oppervlakte-afvoer. Basisgegevens afkomstig van het Actueel.Hoogtebestand Nederland, uitgegeven door Rijkswaterstaat. Figuur representeert een deel van Schauwen-Duiveland, 16 km<sup>2</sup> groot en onderverdeeld in gridcellen van 100'x 100.m.

**Tabel 1:** Gemiddelde berging en totaal oppervlak per hellingsklasse voor het voorbeeldgebied.

Hellingsklasse (%)	Totaal oppervlak (ha)	Berging (mm)
<0,5	1154	35
0,5-1	309	33
1-1,5	118	18
1,5-2	67	13
2-2,5	42	10
2,5-3	19	8.
> 3	11	7

Voor onze berekeningen nemen we de berekeningsresultaten van de potentiële oppervlakte-afvoer voor een zavelgrond (fysische eenheid 15), en voegen hier het effect van hellingspercentage aan toe waarbij we ervan uitgaan dat de vergelijking van Huinink toepasbaar is. De berekende actuele oppervlakte-afvoer voor dit specifieke gebied en deze specifieke condities is in figuur 6 gevisualiseerd.



**Figuur 6:** Schatting van de actuele oppervlakte-afvoer per hellingklasse voor het voorbeeld gebied. Getoond worden 3 neerslagebeurtenissen en 5 verschillende initiële vochtgehalten van de bodem in termen van drukhoogte. Berekeningen zijn uitgevoerd met een empirische vergelijking voor de helling-bergings verhouding opgesteld door Huinink (1986) waarbij de hellingklassen zijn weergegeven in het kader. De potentiële oppervlakte-afvoer is berekend voor een zavelgrond.

Uit figuur 6 blijkt dat er met name tijdens de laag frequente buien gebieden zijn waar tot 65% van de neerslag oppervlakkig afgevoerd wordt. Bij deze buien treedt oppervlakte-afvoer op bij zowel natte als droge initiële bodems. Bij hoog frequente buien treedt alleen een beperkte oppervlakte-afvoer op bij een initieel natte bodem. Omgerekend voor de in de

berekening gebruikte neerslaghoeveelheid spoelt maximaal ongeveer 15 mm af bij de eens per 25 jaar bui en maximaal 2 mm bij de eens per jaar bui.

Uit de gepresenteerde resultaten blijkt dat bij een helling van meer dan 1% tijdens veel buien in meer of mindere mate oppervlakte-afvoer plaatsvindt, waarbij de grondsoort een zavelgrond is en het gewas gras. Dit hellingspercentage zal in Nederland veel voorkomen, met name wanneer gekeken wordt naar de morfologie van individuele percelen. Een andere grondsoort kan meer of minder afstroming veroorzaken, afhankelijk van de potentiële oppervlakte-afvoer (zie figuur 3), echter het ruimtelijk patroon zal met name door de morfologie van het gebied worden bepaald. De mate van berging aan het oppervlak is afhankelijk van het gewas, waarbij gras zeer waarschijnlijk een van de best bergende gewassen is en meer open gewassen zoals maïs dit in veel mindere mate kunnen. Dit komt door de grotere bodemruwheid en door de weertand van gewas die ervoor zorgt dat het water langzamer afstroomt, waardoor er meer kan infiltreren. Om deze methodologie op grotere, meer diverse gebieden te kunnen toepassen moeten er in ieder geval dergelijke berging-hellingshoek relaties zoals beschreven voor gras ontwikkeld worden voor de meest voorkomende landbouwkundige gewastypen van Nederland.

## Conclusie en discussie

De resultaten laten zien dat potentiële oppervlakte-afvoer optreedt bij bijna alle grondsoorten in het geval van intensieve buien met een herhalingstijd van 25 jaar. Ook bij buien met een herhalingstijd van twee en één jaar is de potentiële oppervlakte-afvoer nog steeds aanwezig in grote delen van Nederland. De gevoeligste grondsoorten zijn de klei- en veengronden. Dat is te verklaren doordat de infiltratie in klei en veen normaal gesproken relatief laag is.

In de Staringreeks wordt geen rekening gehouden met effecten van zwel en krimp en van macroporiën. Hierdoor kan de werkelijke oppervlakte-afvoer voor de klei- en veengronden lager uitvallen. Wat betreft de resultaten voor de zandgronden kan de grootte van de werkelijke oppervlakte-afvoer toenemen doordat gronden vanaf een bepaald vochtgehalte waterafstotend kunnen worden (Dekker and Ritsema, 1996). Daarnaast kan de infiltratie spectaculair afnemen doordat gronden verslepen of korstvorming vertonen (Kwaad, 1991; Stolte e. a., 1997). De hier gepresenteerde resultaten zijn dan ook alleen indicatief. Effecten van veranderingen in de structuur van bovengronden, zoals b.v. veroorzaakt door ploegen, zullen impliciet meegenomen moeten worden om een meer accurate voorspelling van oppervlakte-afvoer te kunnen doen.

Het is duidelijk dat de oppervlakte-afvoer een niet te onderschatten belasting van het oppervlaktewater kan zijn. Hoe groot de actuele afstroming is, hangt af van de hellingshoek van het maaiveld, het gewas en de kenmerken van het bodemoppervlak. De gepresenteerde resultaten zijn de eerste waarin gebruik is gemaakt van de geschematiseerde bodemfysische eenhedenkaart in combinatie met het SWAP model om de potentiële oppervlakte-afvoer voor de Nederlandse gronden te kwantificeren voor bepaalde regenbui gebeurtenissen. De methode die gebruikt is om een schatting van de actuele oppervlakte-afvoer te maken maakt gebruik van de maaiveldhelling en een empirische relatie om de maaiveldberging te bepalen. Een meer geavanceerde methode kan b.v. toepassing van het LISEM model (De Roo e.a., 1996) zijn waarbij o.a. oppervlakte-afvoer berekend wordt als functie van helling, bodemfysische eigenschappen, bodemruwheid en weerstand. De helling-ber-



ging verhouding is met het model uit te rekenen, waardoor goede schattingen van de actuele oppervlakte-afvoer op buibasis gegeven kunnen worden. Maatregelen om oppervlakte-afvoer te beperken kunnen met het LISEM model getoetst worden, zoals o.a. is uitgevoerd in Limburg (De Roo e. a., 1995) en Groesbeek (Stolte e. a., 1999).

## Literatuur

- Buishands, T.A. en C.A. Velds (1980)** Neerslag en verdamping; K.N.M.I., De Bilt.
- Dekker, L.W. en C.J. Ritsema (1996)** Uneven moisture patterns in water repellent soils; in: *Geoderma* **70**, 87–90.
- Heidemij (1980)** Regenduurlijnen. Voor het ontwerp en beheer van waterbeheersings- en rioleringsprojecten; Heidemij Adviesbureau.
- Huinink, J.T.M. (1986)** Grasland: rond of vlak?; in: *De Buffer*, jrg. 32, nr 1, pag 1–14.
- Kwaad, F.J.P.M. (1991)** Summer and winter regimes of runoff generation and soil erosion on cultivated loess soils (The Netherlands); in: *Earth Surf. Proc. Landf.* **4**, 281–295.
- Meinardi C.R., C.G.J. Schotten en J.J. de Vries (1998a)** Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland: Langjaarlijkse gemiddelden voor de zand- en leemgebieden; in: *Stromingen*, jrg 4, nr 3, pag 27–41.
- Meinardi C.R., en C.G.J. Schotten. (1999)** Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland: Deel 3: De afwatering van veengebieden; in: *Stromingen*, jrg 5, nr 1, pag 5–18.
- Meinardi C.R., G.A.P.H. van den Eertwegh en C.G.J. Schotten (1998b)** Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland: Deel 2: De ontwatering van de kleigronden; in: *Stromingen*, jrg 4, nr 4, pag 5–19.
- Oosterom, H.P. (1979)** Opzet en uitvoering van een vooronderzoek naar oppervlakkige afstroming op lage zandgrond; ICW-nota 1149, Wageningen.
- Querner, E.P. (1999)** Reactie op verhalen van Meinardi e.a.: Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland, deel 1–3; in: *Stromingen* jrg 5, nr 3, pag 78–80.
- Roo, A.P.J. de, P.J. Wesseling en C.J. Ritsema (1996)** LISEM: a single event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I. Theory, input and output; in: *Hydrological Processes* **10**, 1107–1117.
- Roo, A.P.J. de, 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: Veld- en simulatiestudie; DLO-Staring Centrum rapport 364.1, Wageningen.
- Steur, G.G.L., F. de Vries en C. van Wallenburg (1985)** Bodemkaart van Nederland 1 : 250.000; Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Stolte, J, C.J. Ritsema en A.P.J. de Roo (1997)** Effects of crust and cracks on simulated catchment discharge and soil loss; in: *Journal of Hydrology* **196**, 279–290.
- Stolte, J., C.J. Ritsema en T. Li (1999)** Invloed van verschillende landinrichtingssenario's op de bodem- en waterafvoer in het zuidelijke deel van de ruilverkaveling Groesbeek; DLO-Staring Centrum rapport 644, Wageningen.
- Thunnissen, H.A.M. (1987)** Oppervlakte-afvoer; hoeveelheid en samenstelling; Rapportnr. 728472003, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.

- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst (1988)** Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250.000, ten behoeve van de PAWN-studie; Rapport nr. 2055, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte (1994)** Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Technisch Document 18, DLO Staring Centrum, Wageningen.