

*onder constructie*

# Hydrologische maatregelen, inpassing in het watersysteem

Jan van Bakel  
zzp'er



# Indeling

- Hydrologische systeembeschouwing
- De Waterlood-filosofie
- Waardensystemen
- Ingrepen en maatregelen
- Oplossingsrichtingen
- Classificatie van maatregelen



# Watersysteembeschouwingen (1)

- Deelsystemen: gewas/atmosfeer-onverzadigd-verzadigd-oppervlaktewater
- Druk- en druppelbenadering
- In elk deelsysteem bergingsmogelijkheden van water
- Onderscheid in toestandsvariabelen (bijv. grondwaterstand) en fluxen
- Fluxen zijn veelal afhankelijk van toestand in één van, of beide, verbonden deelsystemen muv neerslag en potentiële verdamping



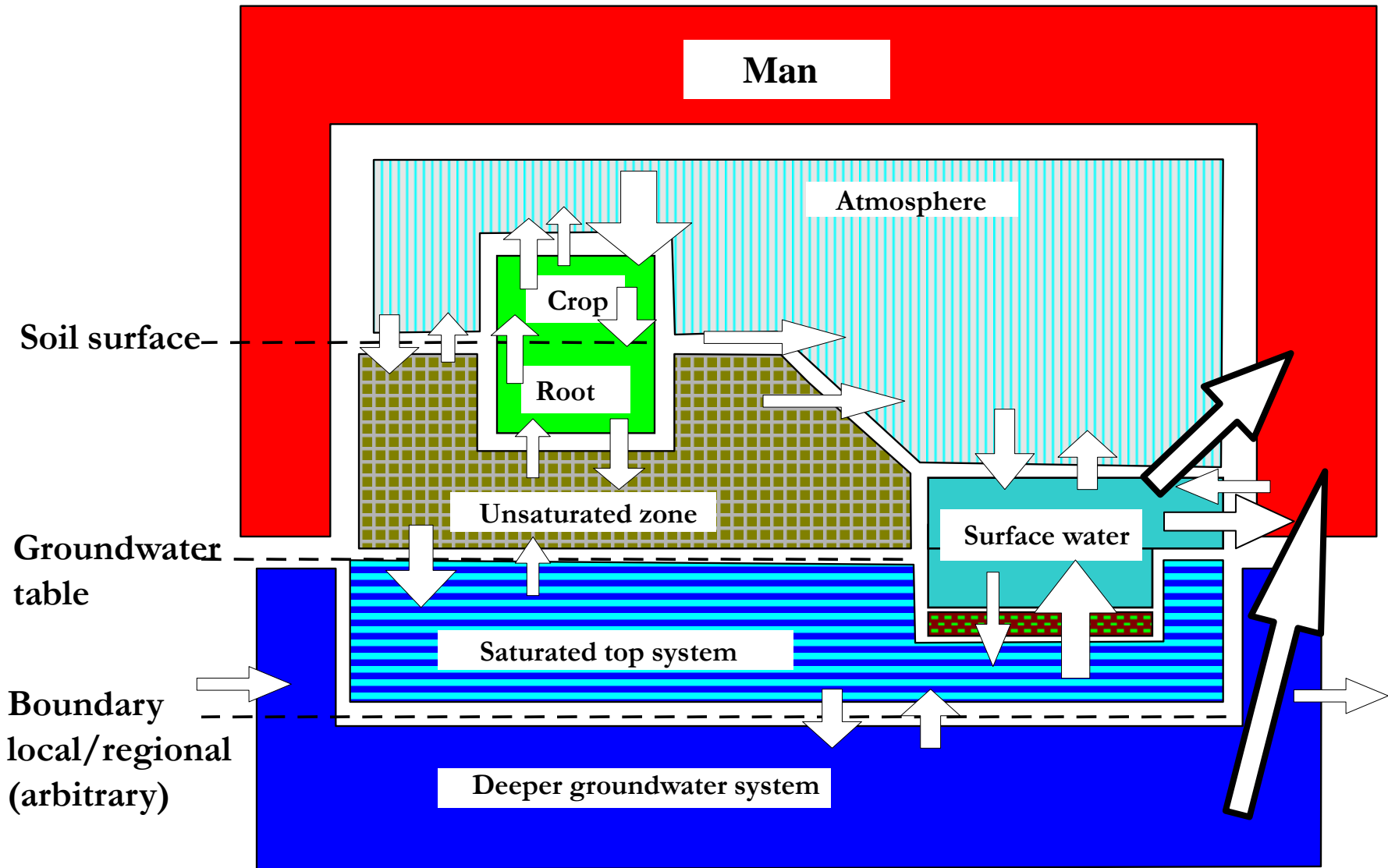
# Watersysteembeschouwingen (2)

- Resulteert in ingreep-gevolg relaties die zijn te kwantificeren, mits we de eigenschappen kennen.

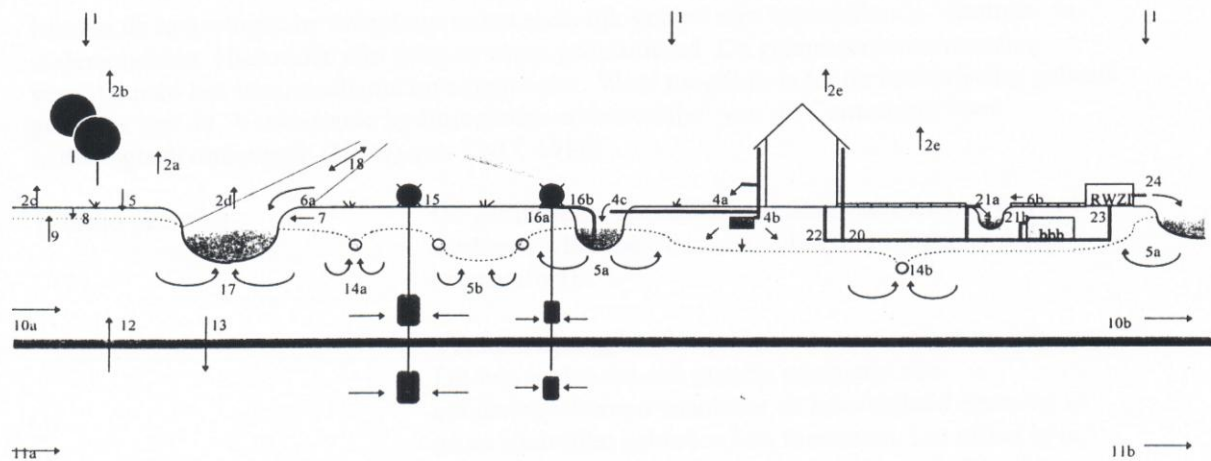
Denk aan formule van Darcy:  $v_z = -k_z * dH/dz$

- Kwalitatief is er op basis van systeemanalyse al veel te zeggen
- Permanente (grond)wateronttrekking is ‘aanslag’ op de waterbalans, die niet zomaar is op te heffen. Kan niet structureel uit berging (behalve in Egypte). Water moet toch ergens vandaan komen:
  - verdampingsreductie
  - afvoerreductie
  - externe wateraanvoer via grondwater- en/of oppervlaktewatersysteem





# Bebouwd



figuur 2.2 zijaanzicht deelstromen stedelijk hydrologische kringloop

tabel 2.3 overzicht deelstromen stedelijk hydrologische kringloop

1	bruto neerslag	12	kwel
2	verdamping	13	wegzijing
2a.	interceptieverdamping	14	drainage
2b.	gewasverdamping (transpiratie)	14a.	landelijk gebied
2c.	bodemverdamping	14b.	bebouwd gebied
2d.	oppervlaktewaterverdamping	15	grondwateronttrekking (permanent)
2e.	verdamping van verhard oppervlak	16	beregening
3	opname door het gewas	16a.	beregening uit grondwater
4	afkoppeltechnieken	16b.	beregening uit oppervlaktewater
4a.	oppervlakte-infiltratie	17	ontwatering
4b.	bodemfiltratie	18	regionale oppervlaktewaterstroming
4c.	water van verharding op oppervlaktewater	18a.	afvoer
5	infiltratie	18b.	aanvoer
5a.	infiltratie	19	hergebruik (grijswatercircuit)
5b.	infiltratie vanuit oppervlaktewater (subinfiltratie)	19a.	hergebruik regenwater
5c.	infiltratie via drains (subinfiltratie)	19b.	hergebruik afvalwater
6	oppervlakte-afvoer	20	afvoer via het riool
6a.	vanaf onverhard oppervlak	20a.	gemengd/ verbeterd gescheiden stelsel
6b.	vanaf verhard oppervlak	20b.	gescheiden stelsel (regenwaterstroom)
7	oppervlakkige afvoer	20c.	geïntegreerd stelsel
8	percolatie	21	overstort
9	capillaire opstijging	21a.	overstort op open water
10	grondwaterstroming via het freatisch pakket	21b.	overstort in bergbezinkbassin
10a.	instroming	22	afvoer van afvalwater
10b.	uitstroming	23	afvoer naar awzi (afvalwaterzuiveringsinrichting)
11	grondwaterstroming via diepere pakketten	24	effluentlozing
11a.	instroming		
11b.	uitstroming		



# Waterlood

Verwijzen naar ppt Heiko Prak

- AGOR = Actueel Grond- en OppervlaktewaterRegime
- OGOR = Optimaal ....
- VGOR = Veranderd ....
- GGOR = Gewenst (Gewogen) ....



# Uitgangspunten

- Watersysteem wordt door waterwinning ‘verstoord’
- Verstoring kan gewenst, neutraal, ongewenst of onaanvaardbaar zijn
- Wordt bepaald door ‘ons’ waardensysteem
- Maatregelen zijn erop gericht gewenste verstoring te bevorderen, ongewenste verstoring geheel of gedeeltelijk op te heffen of onaanvaardbare effecten aanvaardbaar te maken of op te heffen





# Waardensysteem

- Benutten van waarden van water wordt contextueel waterbeheer genoemd
- Gebruikswaarde, belevingswaarde, vervangingswaarde, intrinsieke waarde
- Hoe meet je waarden?
- Doelrealisatie WATERNOOD (functie toegekend)
  - landbouw (opbrengst): (HELP-tabel)
  - terrestrische en aquatische natuur (NATLES en AQUALES)
  - landschap (?)
  - bebouwing (overlast, wonen aan water)
- Gekoppeld aan standplaatsfactoren



# Waardensysteem

- CDG: “Schade is nooit hoger dan kosten compenserende maatregelen”
- Herstel watersysteem is meer dan schade herstellen (goed rentmeesterschap)
- Waterschap is die rentmeester



# Standplaatsfactoren

Meetbare of berekenbare variabelen of daarvan afgeleide karakteristieken:

- (karakteristiek voor) grondwaterstand (bijv Gt)
- (karakteristiek voor) kwelintensiteit (bijv. mm/d)
- (karakteristiek voor) kwelwatersamenstelling (bijv. kalkpotentiaal)
- (karakteristiek voor) inundatie (bijv. herhalingsstijd 5% laagste maaiveld) onder water
- Cl in wortelzone
- (karakteristiek voor) chemische samenstelling oppervlaktewater (bijv. eutrofiëgraad)
- (karakteristiek voor) lage afvoeren (bijv. kans op droogval)



# Verstorings hydrologische systeem door (grond)waterwinning

## Drukbenadering

- verdamping
- grondwateraanvulling
- (schijn)grondwaterstanden
- diepere stijghoogtes
- kwel (definitie)
- drainfluxen naar onderscheiden drainagemiddelen
  - maaiveld
  - greppels
  - perceelssloten
  - schouwsloten
  - A-watergangen
- openwaterstanden
- afvoeren



# Verstorings hydrologische systeem door (grond)waterwinning

- Druppelbenadering
  - andere verblijftijden van drainfluxen naar onderscheiden drainagemiddelen
  - andere herkomst oppervlaktewater
  - Andere verblijftijden in oppervlaktewater
  - kwelwatersamenstelling
- Globaal is wel aan te geven in welke richting veranderingen zullen optreden.  
Kwantificering staat nog in kinderschoenen



# Plaatje hydrologisch systeem

- Opstarten stroomlijnweb
- Geeft in een dwarsdoorsnede grondwaterstanden en grondwaterstromingen in beekstelsysteem in verstoorde en herstelde toestand



# Ingrepen en maatregelen irt oplossingsrichting

- **Oplossingsrichting:**  
referentiekader waaraan de maatregelen worden beoordeeld
- **Ingreep:**
  - door de mens gewilde of ongewilde verandering in systeemeigenschappen (bijv drainageweerstand) of randvoorwaarden (atmosfeer, stijghoogtes op de randen van het systeem)
  - basis voor classificatie maatregel (bijv. grondwaterstandsverhogende maatregelen)
- **Maatregel:**  
technische handeling waarmee ingreep wordt gerealiseerd



# Oplossingsrichtingen

- Vooral denken in watersysteem!
- Welk deelsysteem wordt direct beïnvloed?
- Gedegen inzicht in oorzaak-gevolgrelaties is noodzakelijk
  - metingen
  - analogie (andere vergelijkbare gebieden)
  - modelberekeningen
- Welke flux of variabele wordt gebruikt voor de meetlat?
- Is effect:
  - te verwelkomen
  - te accepteren
  - te compenseren
  - of te adapteren?





# Oplossingsrichtingen: verwelkomen (1)

- Watersysteem is door ontginning, landinrichting en verstedelijking altijd aangetast en door winning van water is (enig) herstel van ongewenste veranderingen mogelijk. Ook kunnen maatschappelijke ontwikkelingen leiden tot andere kijk op gewenste situatie. In het geval
  - piekafvoeren te hoog
  - (hoge) grondwaterstanden te hoog (te nat)(volgt uit vergelijking AGOR met OGOR) kan waterwinning bijdragen aan oplossing (onderdeel van GGOR)
- Stoppen van winning kan verschil tussen AGOR en OGOR doen toenemen



# Oplossingsrichtingen: verwelkomen (2)

## Meekoppelen c.q. meebetalen

- Voorbeelden:
  - Espelose Broek (?) en meer voorbeelden: winning draagt bij aan verbetering ontwatering landbouwgronden
  - aanleg retentiebekken en bekken ook gebruiken voor oppervlaktewaterwinning (in buitenland doen ze bijna niets anders) of inpassing in landschap  
Voorbeeld Wierden (hierna)



- Haarlem e.o. (wateroverlast woonwijken)

# Oplossingsrichtingen: accepteren

- schade is te beperkt om er werk van te maken
- schade is te onzeker om er werk van te maken
- compenseren is te duur om er werk van te maken
- herstel is te duur om er werk van te maken



# Oplossingsrichtingen: compenseren

- economische schade uitbetalen
- ecologische schade geleden in ‘natuurgebieden’ (elders) compenseren (compensatieregeling SGR, ...)
  - (zonder ruimtelijk compenseren kom je er moeilijk uit)
- schade aan natuur bepalen?: mbv methode CDG ontleend aan subsidies die zijn gebaseerd op normkosten



# Oplossingsrichtingen herstel

## Opmerkingen vooraf:

- In klimaat termen: adaptatie
- Maatregelen ingedeeld op basis aanpak op flux of toestand watersysteem die direct of indirect bijdraagt aan geconstateerde verstoring (**blauw** in titel vermeld):
- Maatregelcategorie: *cursief gemaakt*
- Maatregelen zelf: **vet gemaakt**



# Oplossingsrichtingen herstel (1), verdamping is gereduceerd

## *1) Verdampingsverhogende maatregelen*

- **beregening landbouwgewassen**
- *grondwaterstandsverhogende maatregelen*
  - ....., **zie 4)**

Dubbele aanslag op de waterbalans: paard  
achter de wagen spannen?

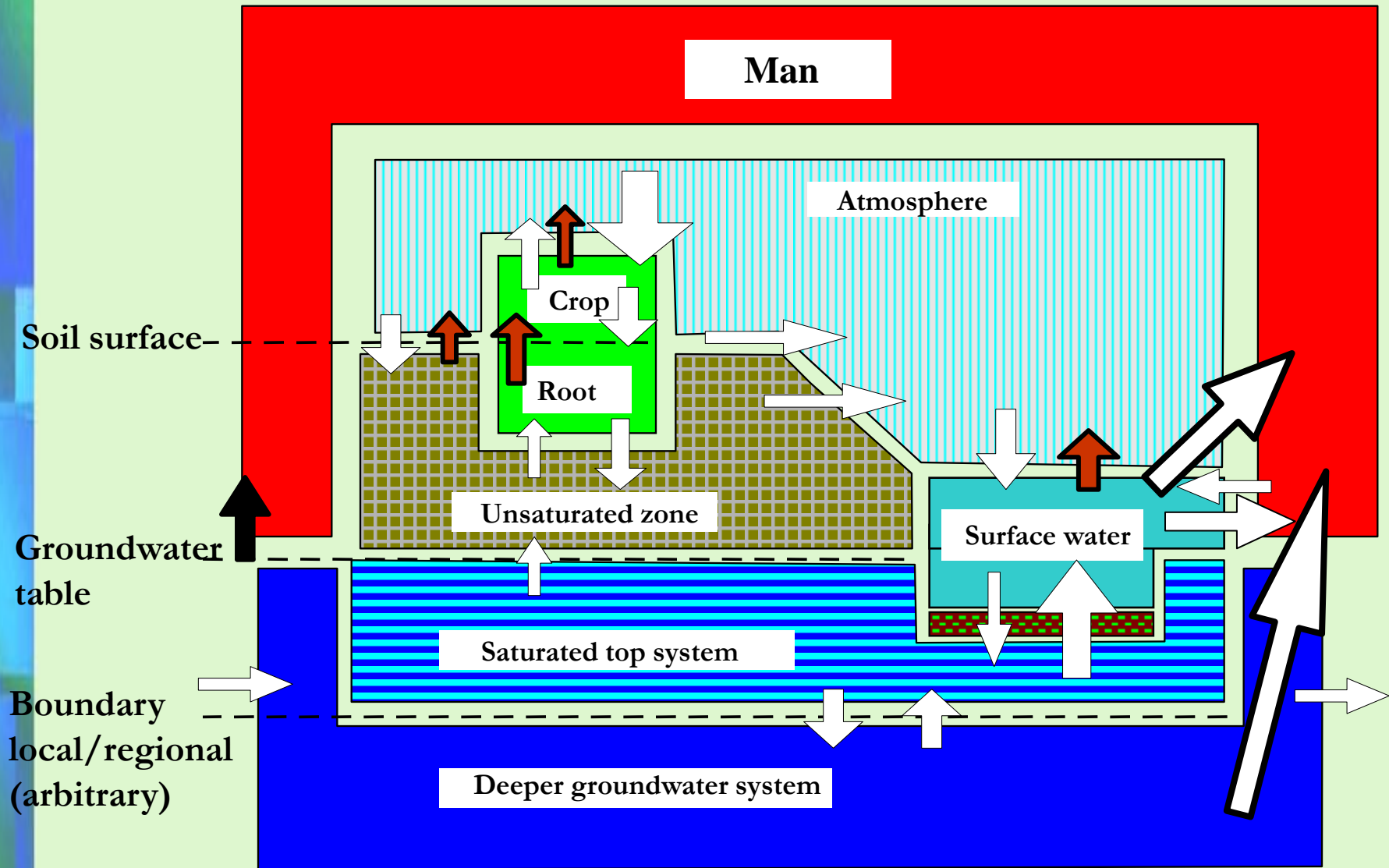


# Oplossingsrichtingen herstel (2), grondwaterstand is gedaald

2) *Verdampingsreducerende maatregelen (met het oog op verhoging grondwateraanvulling)*

- **verloofing** (donker naaldbos->loofbos); 200 mm per ha
- **verheiding** (bos-> droge heide); 100 mm per ha
- **verwoestijning** (vegetatie->kale grond); 300 mm per ha
- **dempen waterlopen** (open water->land)
- **beregening uit grondwater stoppen**
- **telen laagproductieve gewassen** (beheerslandbouw, teeltvrije zones langs waterlopen). 1 kg g droge stof is 200 l water. Dus 5 ton per ha is 1000 m<sup>3</sup>
- **mulchen** (akkerbouw)
- **geen nagewas telen** (mag niet)
- door **beheer** sterk verdampende gewassen/struiken/bomen in **natuurgebieden** verdringen
- **Ondergroei verwijderen**

# Oplossingsrichtingen herstel (2)





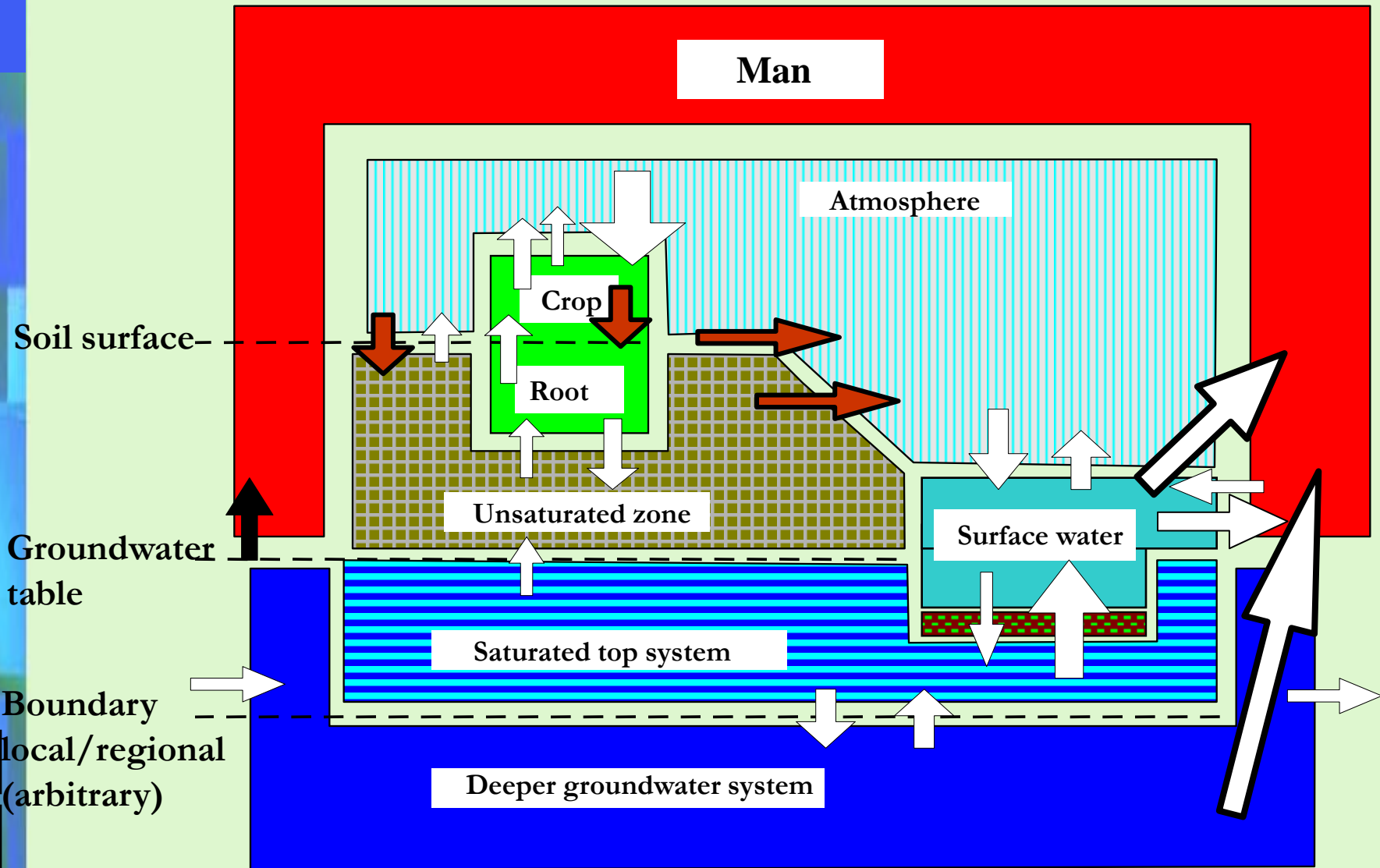
# Oplossingsrichtingen herstel (3), grondwaterstand is gedaald

3) *Infiltratieverhogende maatregelen (met het oog op verhoging grondwateraanvulling):*

- **bos aanplanten** (strooisellaag)
- **beregenen** (scheelt ca. 50 mm/jaar)
- **los maken grond in najaar** (maïspercelen)
- **breken slecht doorlatende lagen** (ploegzool)
- **aanleggen walletje** (ter voorkoming maaiveldafvoer)
- **afkoppelen daken en verharde oppervlakken van riolering**. Veel effect. Tientallen cm's in hoge delen Beerze stroomgebied (VAB gebiedsvisie)
- **(her)aanleg vloeivelden** Voorbeeld Lankheet
- **aanleg infiltratievoorzieningen**. Voorbeeld Epe (hierna)



# Oplossingsrichtingen herstel (3)



# Oplossingsrichtingen herstel (4), grondwaterstand is gedaald

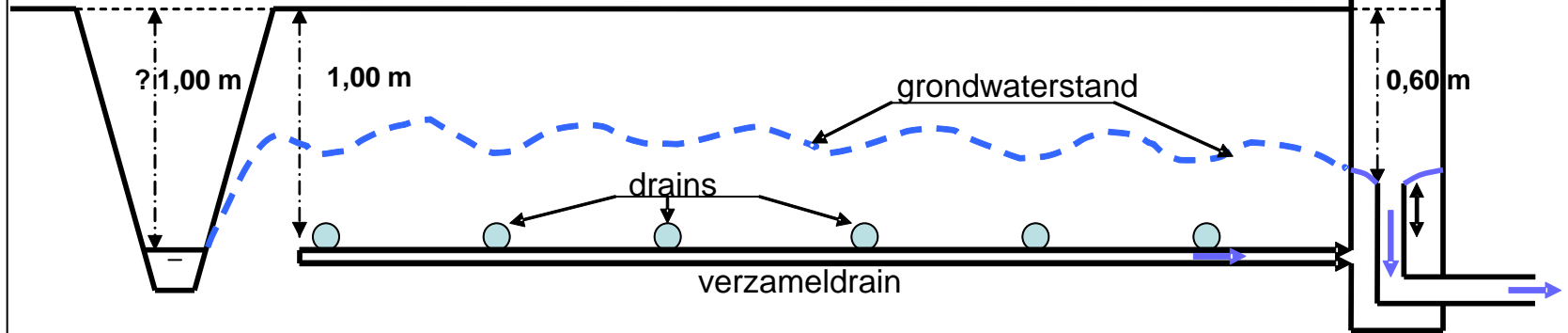
## 4) Grondwaterstandsverhogende maatregelen

- *verhogen ontwateringsbasis*
  - **dempen/verontdiepen open ontwateringsmiddelen**; al of niet icm intensivering (om landbouwkundige reden)
  - **buisdrainage weghalen**
  - **peilgestuurde drainage (plaatje)**
  - **stuwen plaatsen**
  - **wateraanvoer** (in droge periodes) voor peilhandhaving waardoor subinfiltratie kan optreden. Voorbeelden: Boerhaar, Espelose Broek, Rodenmors, Hammerfliet, Vechterweerd. In ws Aa en Maas effleunt voor peilhandhaving deel van beheersgied
  - **wateraanvoer** voor beregening. Landbouwgebied rond Groote Peel
  - **terugpompen** waterafvoer van lage naar hoge gebieden (impliciet in Salland)
- **verminderen/stoppen beregenen uit ondiep grondwater**
- **maaiveld afgraven** (evt icm verschrallen)

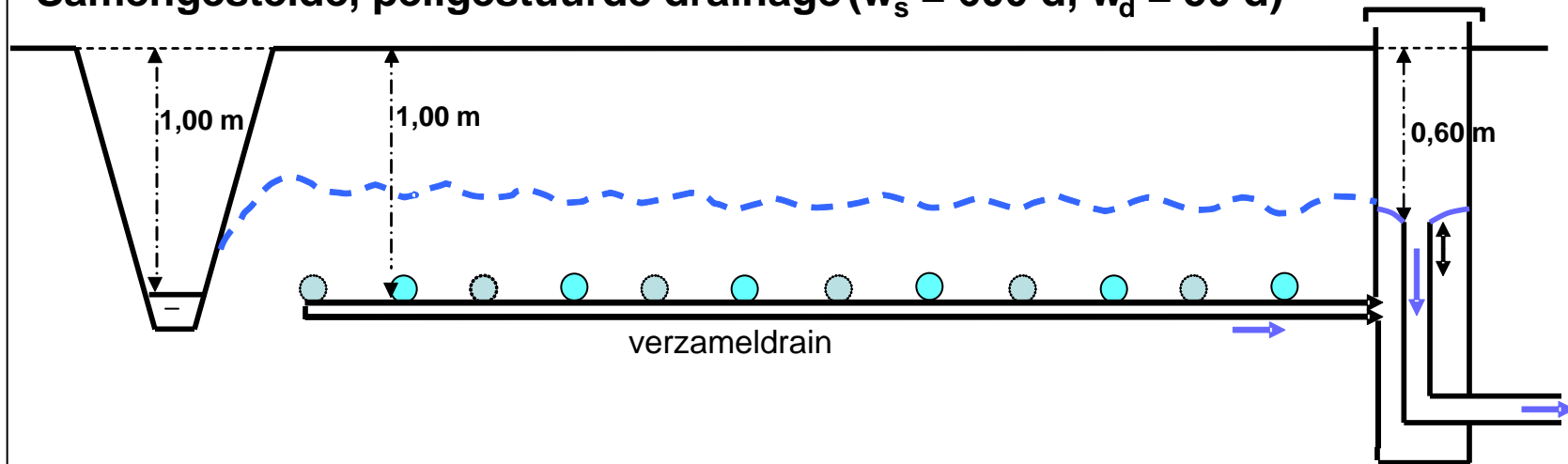


# Principetekeningen samengestelde peilgestuurde drainage

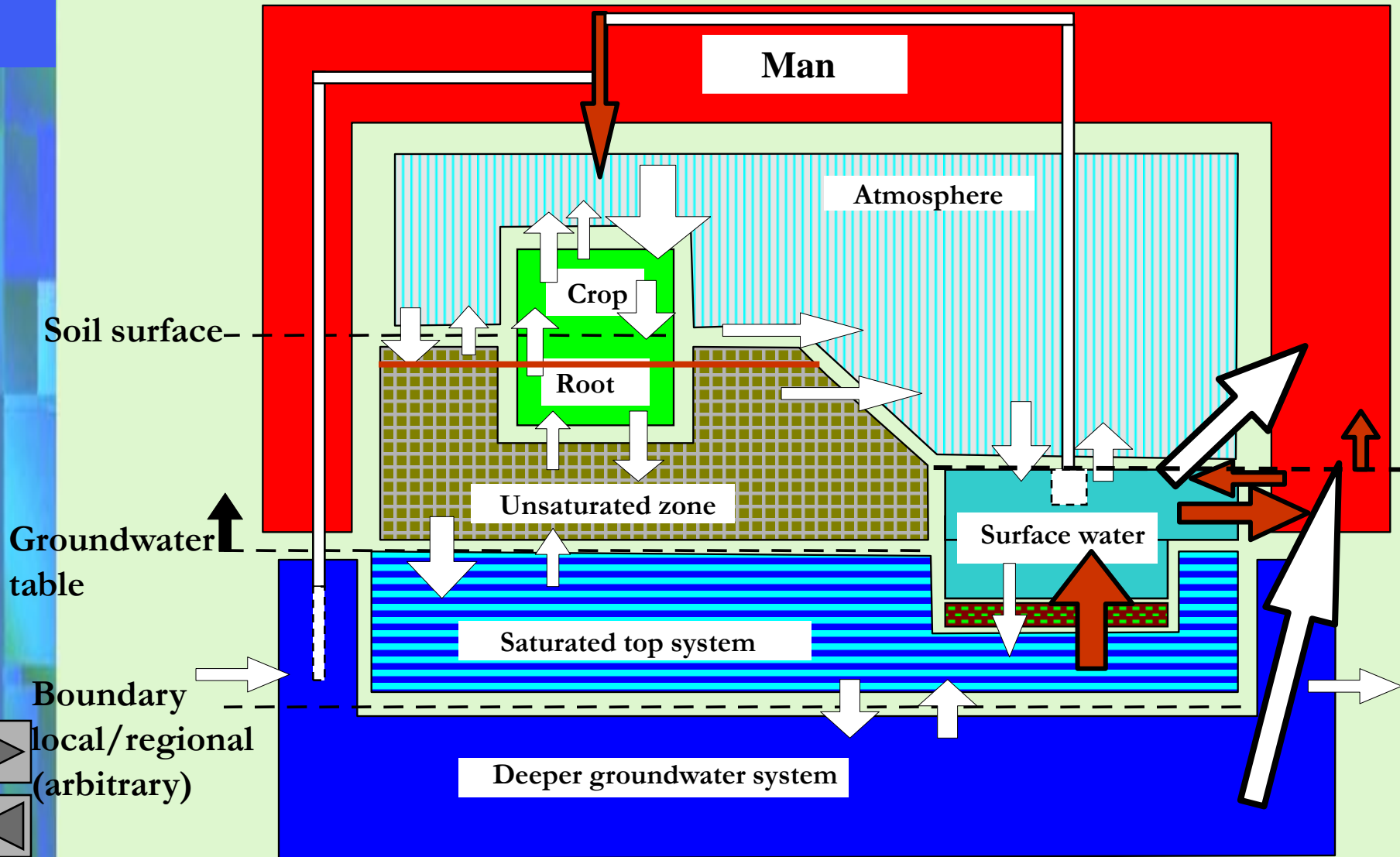
Conventionele drainage met pijpje ( $w_s = 300 \text{ d}$ ,  $w_d = 100 \text{ d}$ )






Samengestelde, peilgestuurde drainage ( $w_s = 600 \text{ d}$ ,  $w_d = 50 \text{ d}$ )



# Oplossingsrichtingen herstel (4)



-  local/regional (arbitrary)
-  Boundary
- 

# Oplossingsrichtingen herstel (5), kwel is afgenomen

## 5) (*Ecologisch-relevante-*)*kwelverhogende maatregelen* (*in natuurgebied*)

- verhogen grondwaterstand in omgeving (bufferzones)
  - sloten verontdiepen/dempen
  - peil opzetten
  - drains verwijderen
- **(hydrologisch) scherm rond natuurgebied**
- *Grondwaterstandsverlagende maatregelen in natuurgebied*
  - **Sloten verdiepen/graven (?)**
  - **Maaiveld afgraven** (als dit dient als drainagemiddel)
- Diepe-potentiaalverhogende maatregelen
  - **Infiltratieputten** in bepompt pakket. Voorbeeld: MER Losser



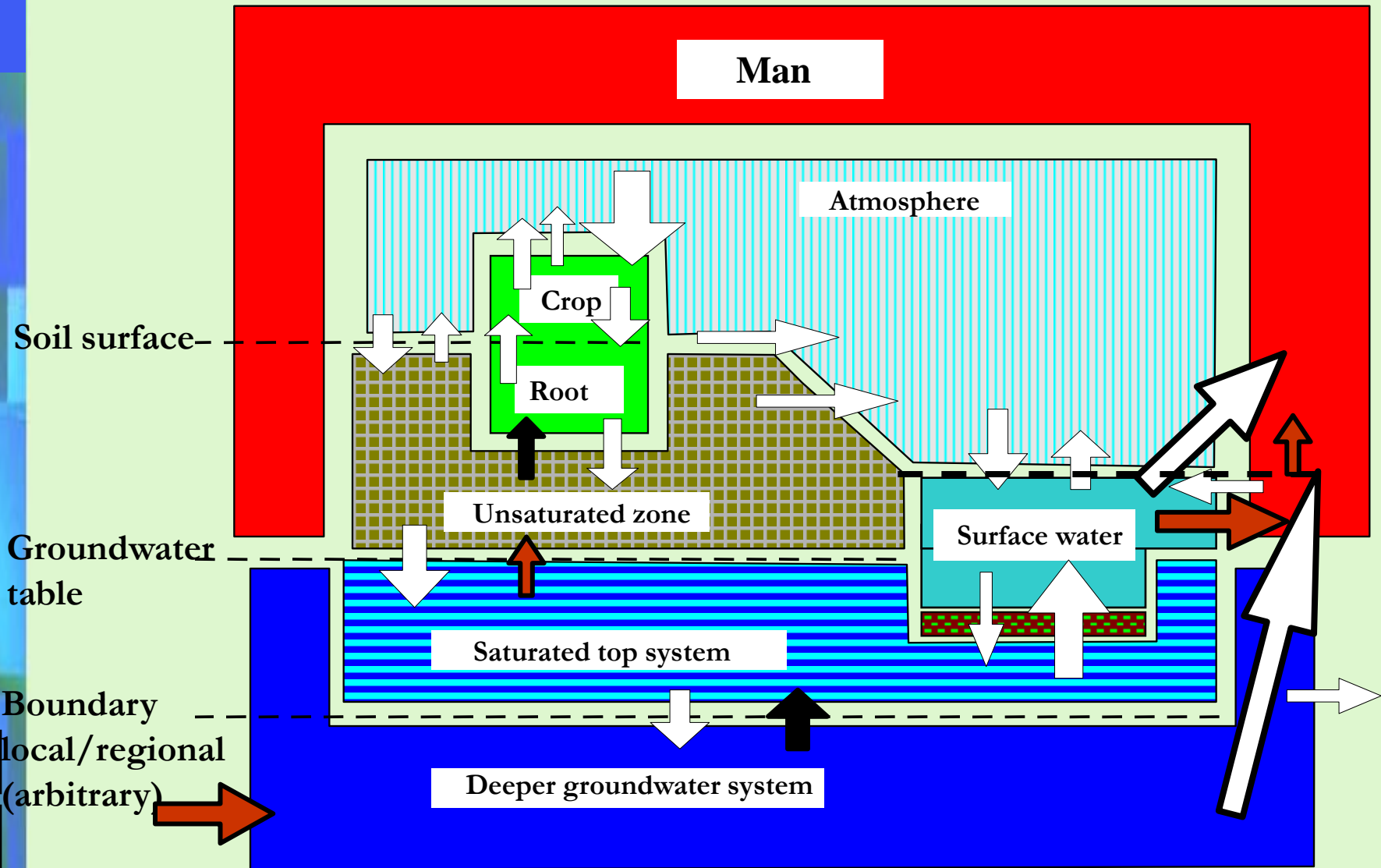
# Oplossingsrichtingen herstel (5), kwel is afgenomen


*(vervolg van vorige dia)*

- *verkleinen dikte neerslaglens*
  - **ontwateringsmiddelen verontdiepen**  
(tekening)
  - **aanleggen ondiepe ontwatering**
  - *verdampingsverhogende maatregelen*
    - **...., zie 1)**
  - *infiltratieverminderende maatregelen*  
(*spiegelbeeld van verhogende*)
    - **....., zie 3)**



# Oplossingsrichtingen herstel (5)




 local/regional (arbitrary)



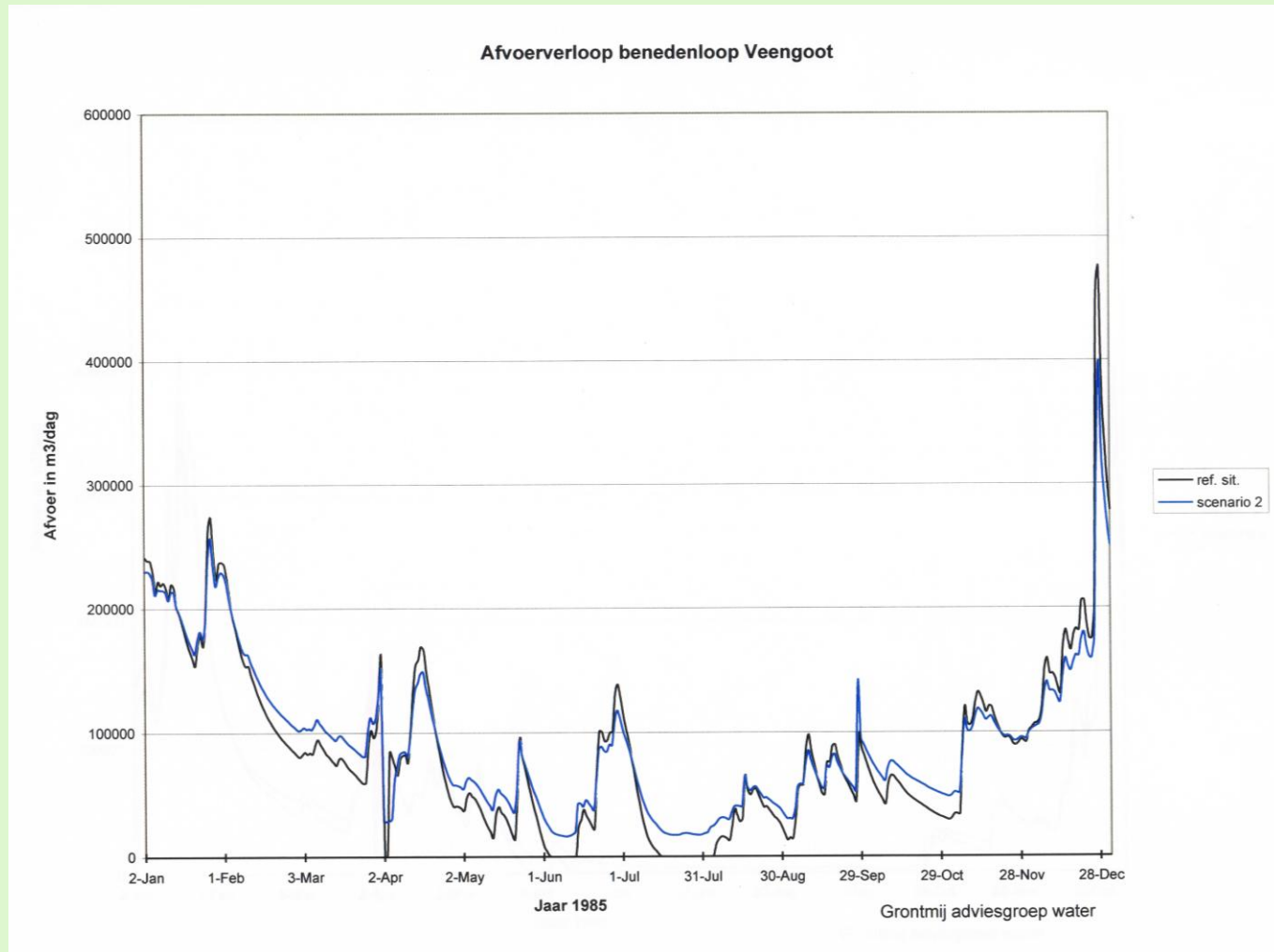
# Oplossingsrichtingen herstel (6), afvoer is afgenomen

6) *(Beek)afvoerverhogende maatregelen (afvoer in droge perioden)*

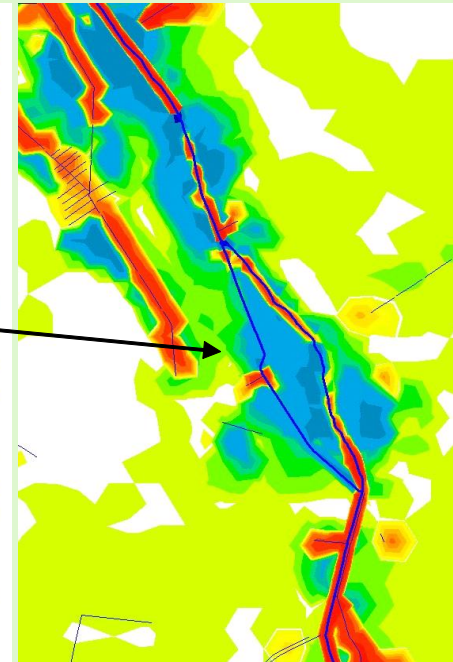
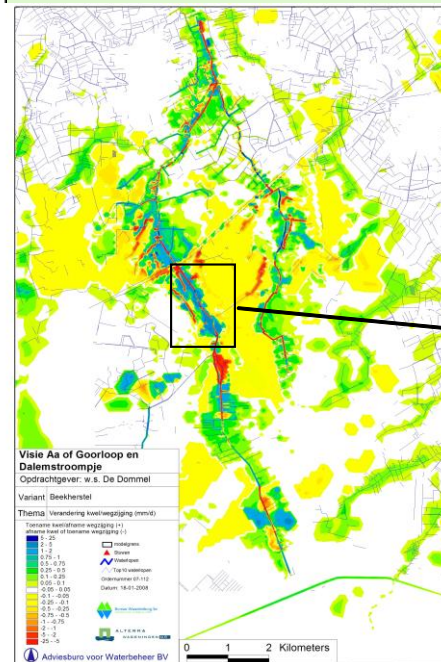
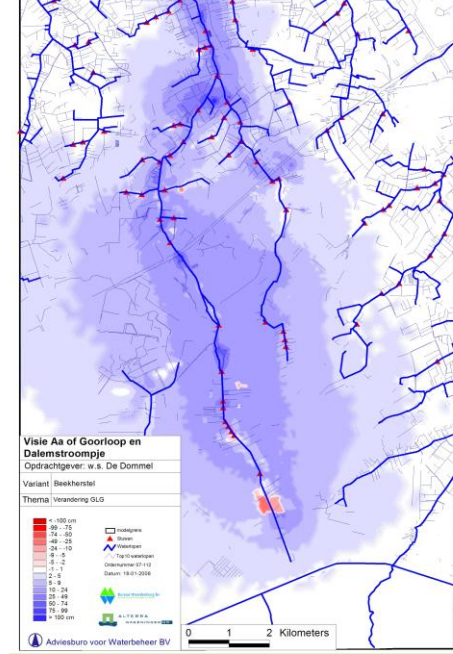
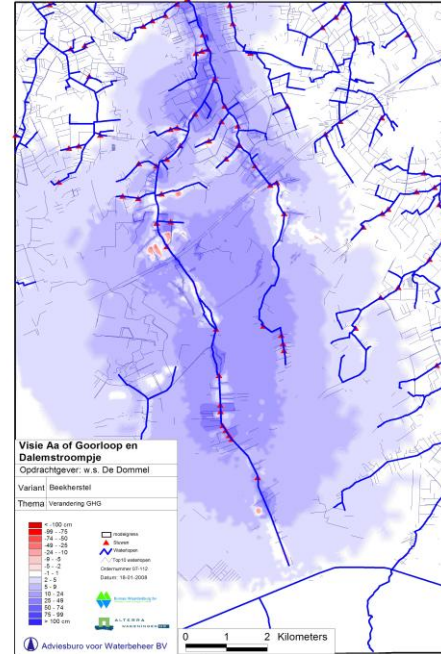
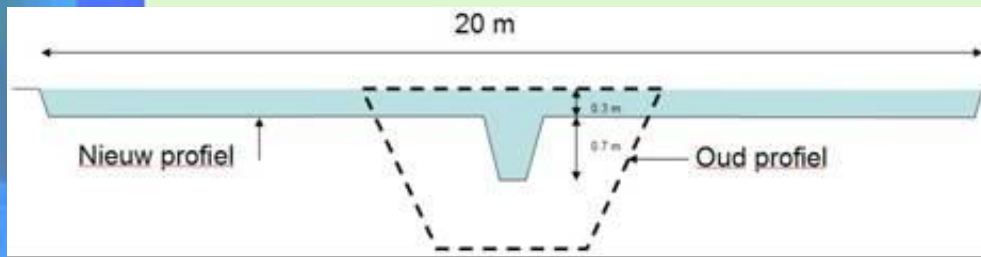
- *verlagen ontwateringsbasis in de zomer*
  - **actief stuwen verlagen**
  - **aanleggen extreem accoladeprofiel** (zie figuren)
- *vasthouden-bij-de-bron maatregelen*
  - **boerenstuwen aanleggen en ‘slim’ bedienen**
  - **peilgestuurde drainage** (verschuiven drainflux naar regionaal systeem)
- *verminderen verdamping intrekgebieden*
  - ..... , zie 2)
- **bekleden van delen die infiltreren (agv ..?)**
- **‘gepolisht’ effluent op beek lozen**



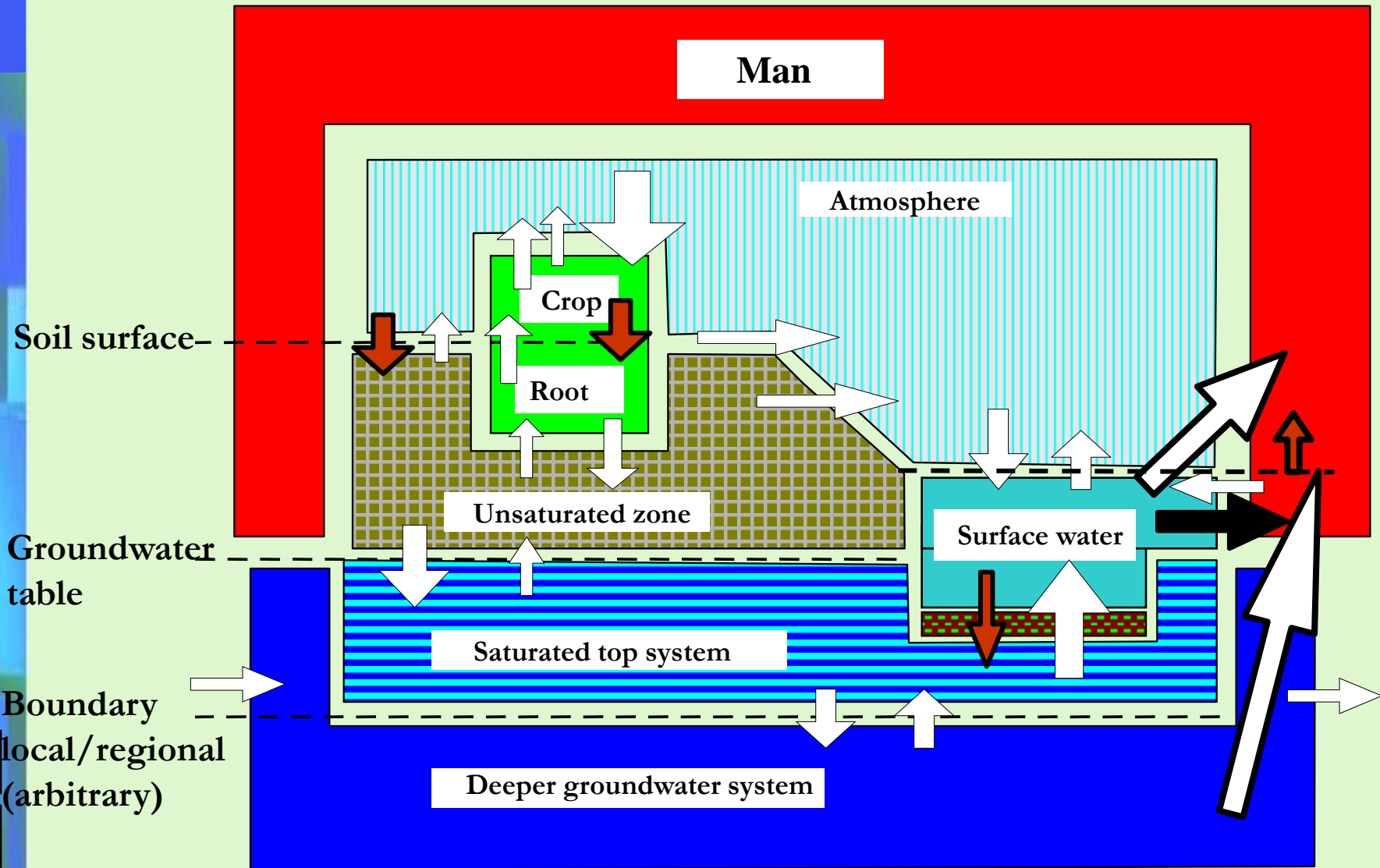
# Effect extreem accoladeprofiel op afvoer Veengoot



# Effect Beekherstel Aa of Goorloop op kwel in beekdal



Oplossingsrichtingen herstel (6)



# Oplossingsrichtingen herstel (7 en 8), piekafvoeren gereduceerd

## 7) *(Beek)afvoerverhogende maatregelen (afvoeren in pieksituaties)*

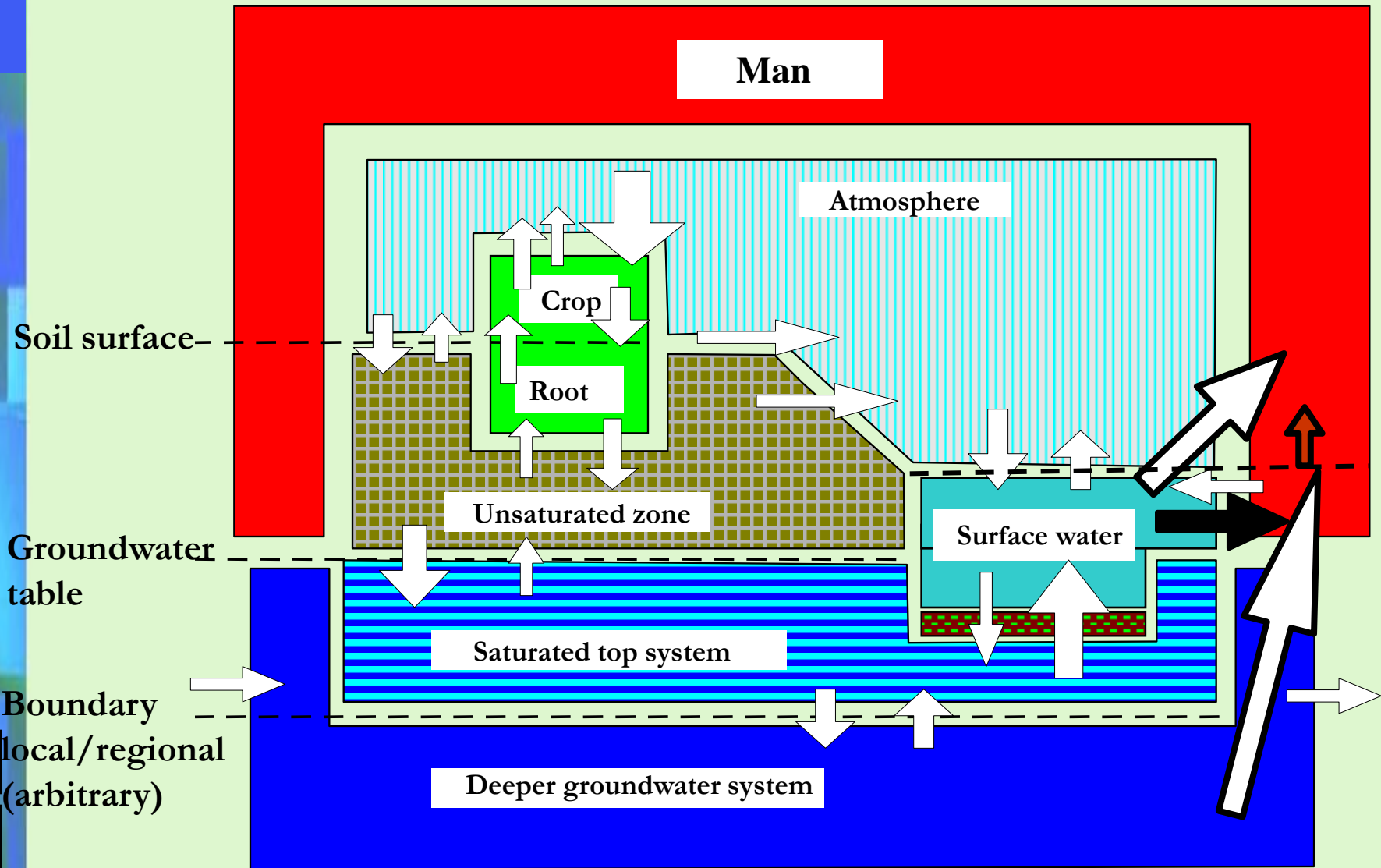
- *verhogen ontwateringsbasis*
  - .... , **zie 4)**
- *verminderen verdamping*
  - ....., **zie 2)**
- *verminderen retentie in brongebieden*
  - *verhogen grondwaterstand*
    - .... , **zie 4)**
  - **verwijderen stuwen**

## 8) *Inundatiekansverhogende maatregelen*

- **verkleinen doorstroomprofiel**
  - inrichting
  - beheer
- **verhogen beekafvoeren in pieksituaties (zie 7))**
- **afgraven maaiveld** hydrologische maatregelen



# Oplossingsrichtingen herstel (7 en 8)



Boundary local/regional (arbitrary)

# Classificatie van maatregelen mbt inpassing (grond)waterwinning

- Brongericht vs **effectgericht**
- **Inrichtings-** vs **beheersmaatregel**
- Mitigerend vs **adapterend**
- Uitvoering: **waterschap** vs **terreinbeheerder**
- In werking stellen: **Actief** of **passief**
- Hydrologisch effect: **niveau** of **balans**
- Vasthouden-bergen-afvoeren maar dan: **bronmaatregelen** vs **end-of-pipe**





# Literatuuroverzicht oplossingsrichtingen mitigeren

- Verplaatsen grondwaterwinning naar einde watersysteem (GMN)
- Verplaatsen naar grotere dieptes. Diverse studies





# Literatuuroverzicht oplossingsrichtingen verwelkomen

- Wierden (Vitens). Flyer
- Espelose Broek??? Info Vitens



# Literatuuroverzicht oplossingsrichtingen accepteren

- Klimaatverandering en droogteschade landbouw (Droogtestudie)  
[www.droogtestudie.nl](http://www.droogtestudie.nl)
- Droogteschade door beregenen uit grondwater meestal niet in rekening gebracht bij de burens



# Literatuuroverzicht oplossingsrichtingen compenseren

- Landbouwschade uitbetalen (CDG):  
Boxmeer e.v.a.

*Zie [www.grondwater-cdg.nl](http://www.grondwater-cdg.nl)*

- Terrestrische en aquatische natuur:  
moeizaam
- Grondwateronttrekkingen Bosschade. Een  
werkwijze tot vaststelling van schade aan bos, natuur en  
landschap als gevolg van grondwateronttrekking (CDG,  
2002)



# Literatuuroverzicht oplossingsrichtingen adapters (1)

- Waterverkenning stroomgebied Baakse beek (Grontmij, 2000)
- Querner e.a., (2005) Verkenning van mogelijkheden om water vast te houden op het Drents Plateau
- Van Walsum P.E.V van en A.A.Veldhuizen (1999) Waterwinning en multifunctioneel landgebruik ten behoeve van ondiepe waterwinning en natuur. Alterra-rapport 860
- Bakel, J. van, J. Hoogendoorn, J. Luijendijk en J. Peerboom (2001). Hoogwaterreductie vanuit regionale stroomgebieden: samenhang of tegenstellingen? H<sub>2</sub>O (3): 27-29.
- Bakel, P.J.T. van, A. Poelman en L.C.P.M. Stuyt (2007). Water vasthouden in de provincie Noord-Brabant. Inzicht door modelberekeningen. Alterra-rapport 1488. ISSN 1566-7197.
- Bakel, Jan van, Mark van de Wouw, Albert Poelman en Lodewijk Stuyt (2007). Water vasthouden werkt! H<sub>2</sub>O 2007(14)



# Literatuuroverzicht oplossingsrichtingen adapteren (2)

- Bakel, P.J.T. van en P.E.V van Walsum (1993) Gebiedsvisie VAB-gebied Midden-Brabant (hydrologisch deelrapport)/ TAUW Infra Consult bv
- Cirkel, D.G., E.P. Querner, P.J.J.F. Torfs en H.A.J. van Lanen (2003). Effecten van verdrogingsbestrijdende maatregelen en klimaatverandering op extreem hoge afvoeren. Een modelstudie met SIMGRO voor het Stortelersbeekgebied. Alterra-rapport 844, ISSN 1566-7197.
- Louw, P. de, P.J.T. van Bakel, J. Buma, H. Hakvoort en A.A. Veldhuizen, 2006. Vergroting Retentiewerking. Rapport 2006-U-R-122/A. TNO Bouw en Ondergrond/Alterra/WL Delft Hydraulics.
- Bakel, P.J.T. van, 2004. Werkt vasthouden? H2O #14/15: 19-21.
- Massop, H.Th. L., L.C.P.M Stuyt, P.J.T. van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak (1997) Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Rapport 527.1. SC-DLO, Wageningen.
- Massop, H.Th. L., L.C.P.M. Stuyt en P.J.T. van Bakel (1998) Het realiseren van het gewenste grondwaterregime. Een leidraad. Landinrichting 39(3): 14-19.



# Literatuuroverzicht oplossingsrichtingen adapters (3)

- Poelman, A. en P.J.T. van Bakel (2008) Visie Aa of Goorloop en Dalemstroompje. Modellerings van de hydrologie van het stroomgebied van de Aa of Goorloop en het Dalemstroompje ten behoeve van visievorming. Deelrapport 1. Allterra/Adviesburo voor Waterbeheer bv/Bureau Waardenburg
- Grontmij ( 2000) Wateraanvoer 't Klooster.
- Graaff B. de en M. van de Brink (2007) Maatregelen om over te piekeren. Effecten van vernatten op afvoerverloop in beken.
- Bakel, P.J.T. van, P.E.V. van Walsum, M. Groenendijk en E.P. Querner (2002) Waterbergings en verdrogingsbestrijding. Een nadere analyse van de mogelijkheden en beperkingen aan de hand van modelberekeningen in 2 stroomgebieden. Allterra-rapport.



# Literatuuroverzicht oplossingsrichtingen adapteren (4)

- Dik, P.E., P.J.T. van Bakel, M.J.D Hack-ten Broeke en E.P. Querner (2006). Hydrologische berekeningen voor landgoed Lankheet. Mogelijkheden voor waterberging en verdrogingsbestrijding bij de aanleg van vloeivelden. Alterra-rapport.
- Bakel, P.J.T. van en P.A.J. W. de Wit, (1995) Is de toegenomen verdamping één van de oorzaken van de verdroging? *H<sub>2</sub>O* (25): 770-773.
- Bakel, P.J.T. van, J.M.P.M. Peerboom en L.C.P.M. Stuyt, (2007) Draineren tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid? *H<sub>2</sub>O* 2007(1): 25-28.
- Kruijff, J. de, P.J.T. van Bakel en H. Hoogeveen, 1998. Hergebruik van gezuiverd afvalwater. Verkenning en doorkijk. *H<sub>2</sub>O* 31(14): 22-25.

