

Introductie tot grondwatermodellering

Advanced Groundwater Techniques - AGT

Jos Van Steenwinkel

Laura Scheêre



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



Opleiding georganiseerd door VOBAS:

Inleiding tot grondwatermodelleren voor bodemonderzoek

Software: MODFLOW 6 met ModelMuse als gebruikersinterface (USGS, gratis)



8/10/2026 van 9 tot 17u Gentbrugge (Emelia)

Voormiddag: THEORIE

Grondwatersystemen en grondwaterstroming

Numeriek modelleren van grondwaterstroming met MODFLOW 6-GWF

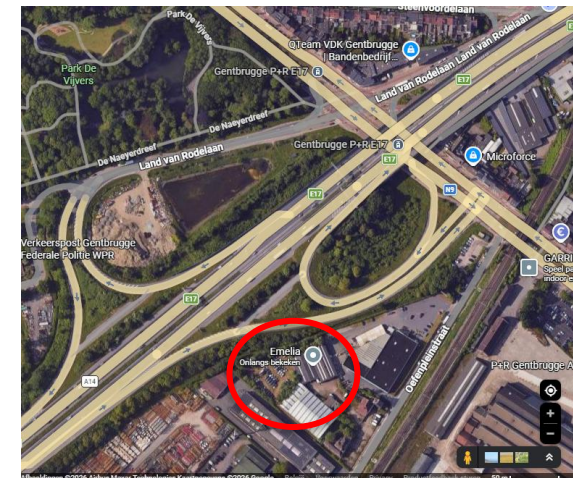
Stroombaanberekeningen met MODFLOW 6-PRT

Namiddag: PRAKTIJK

Opstellen van een eenvoudig grondwatermodel

Simulatie van een ondiepe bemaling voor een uitgraving

Voorstelling van de resultaten



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

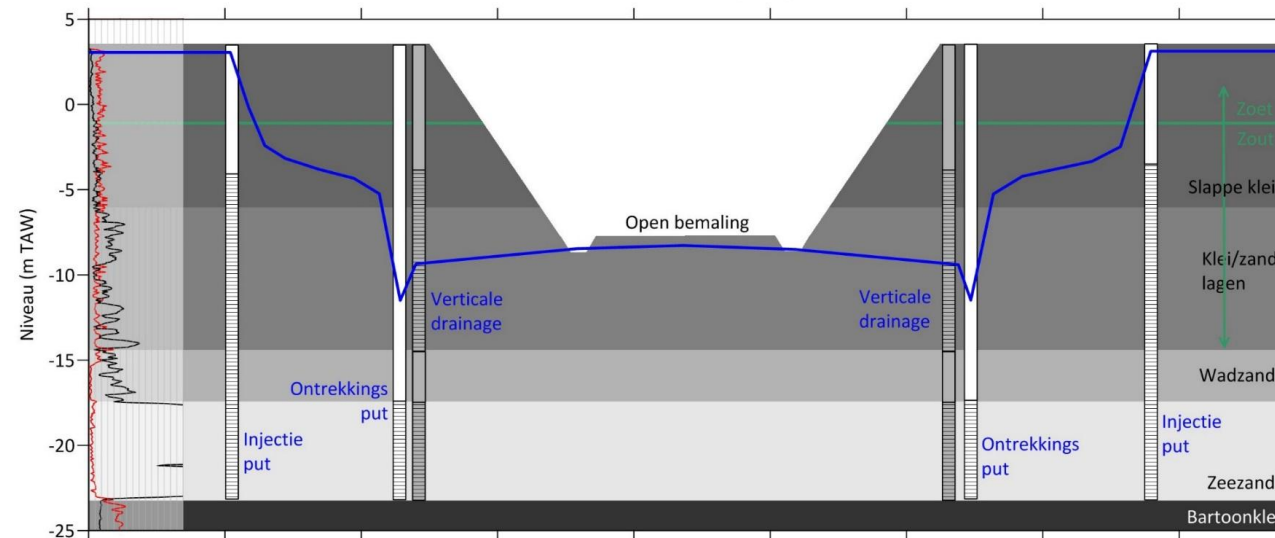




- Grondwatertechnieken
- Model- en rekentechnieken
- Monitoring



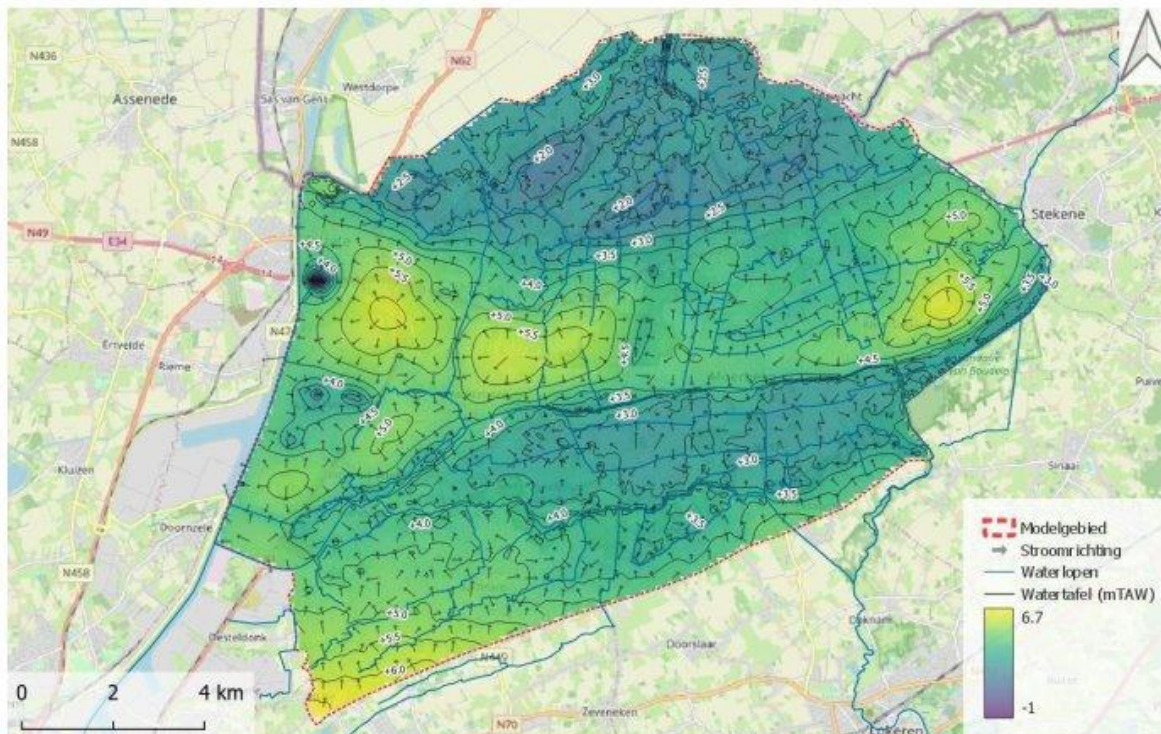
K51-55 centrum uitgraving



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



- Grondwatertechnieken
- Model- en rekentechnieken
- Monitoring



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



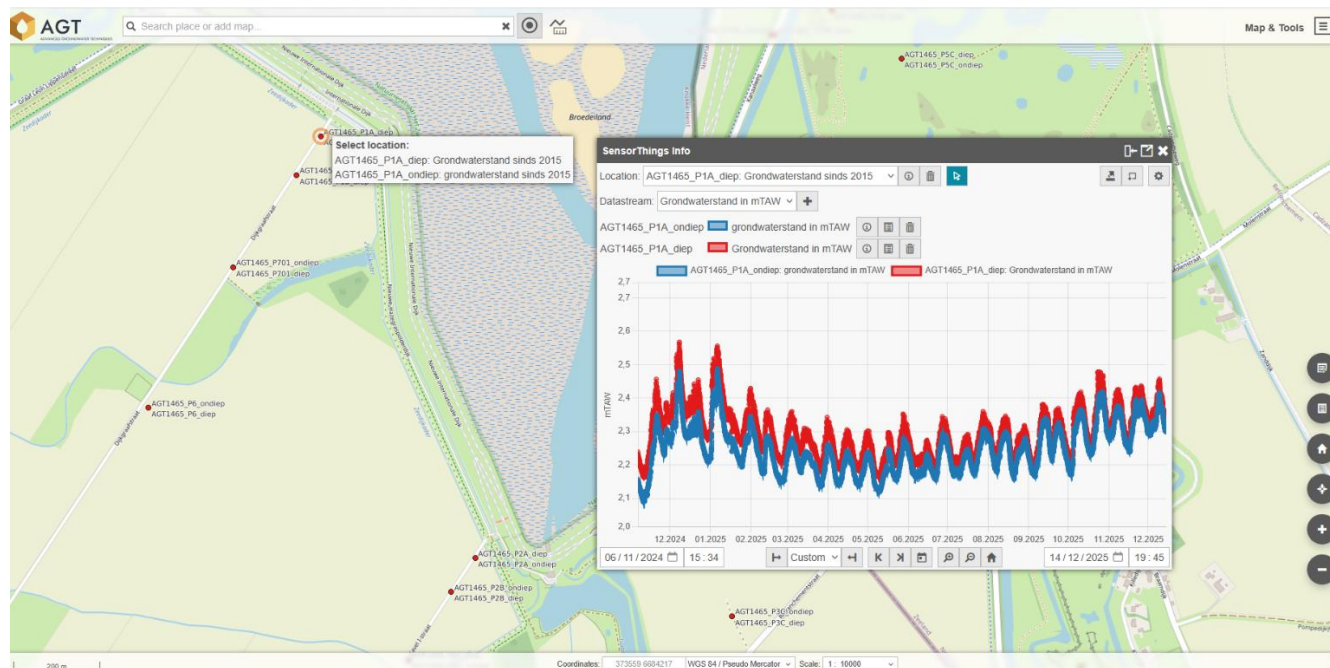
- Grondwatertechnieken
- Model- en rekentechnieken
- **Monitoring**



Figure 26: Cavity at a depth of 83 MBGL.
Down view.

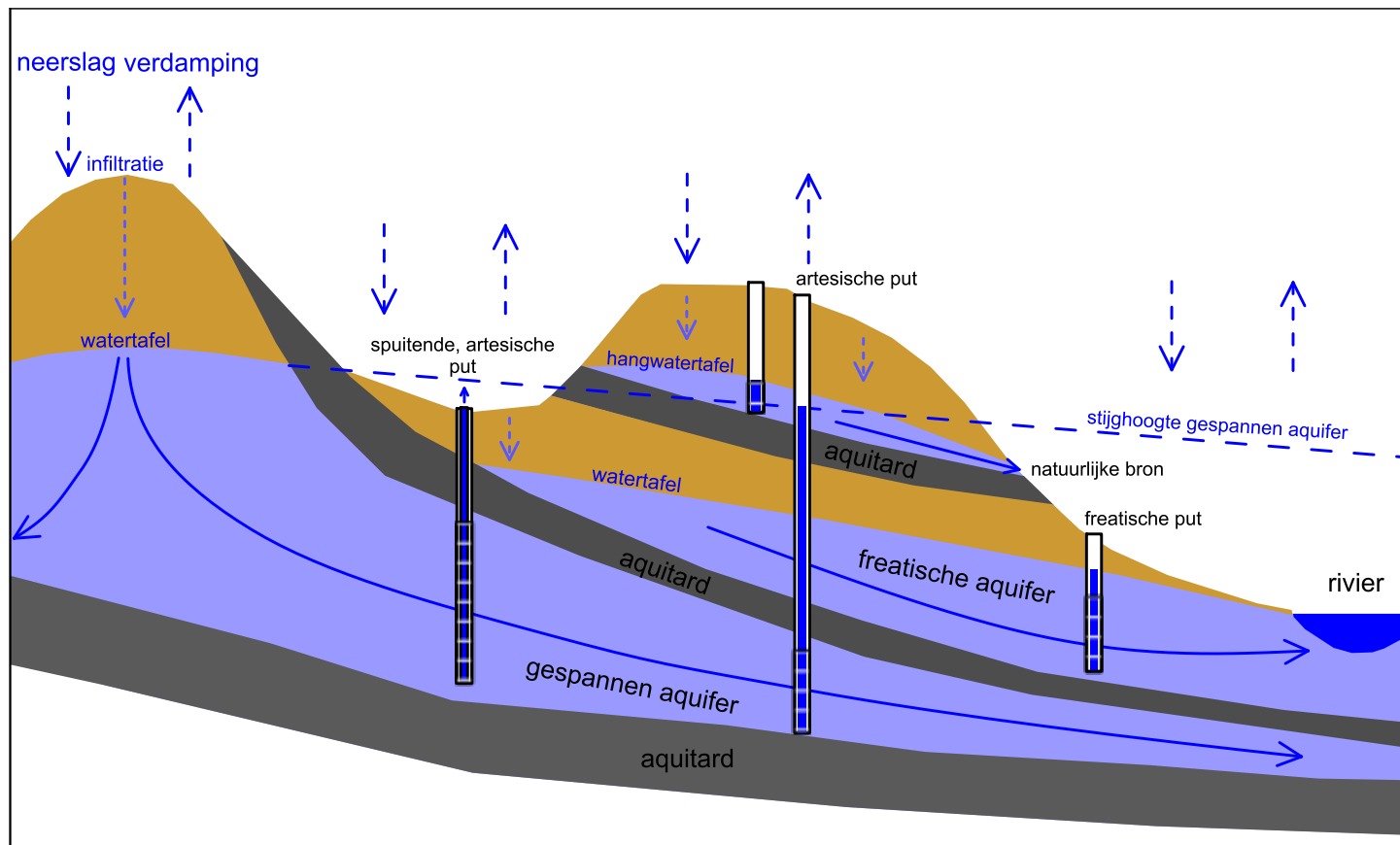


Figure 28: Fissured rock at a depth of
112,4 MBGL. Side view.



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

Groot reservoir dat overschot neerslagwater opslaat en traag afvoert, met het oppervlaktewater als overloop



Ingreep	Doelstelling	Wijze	Omgevingseffecten
bemaling	bemalingspeil behalen	ondiepe putten of (open) drainages	verlaging peilen, vermindering afvoerdebiet
winning	onttrekkingsdebiet behalen	ondiepe of diepe putten, putbatterijen of galerijen	verlaging grondwaterpeilen, vermindering afvoerdebiet
infiltratie	infiltratiedebiet of infiltratiepeil behalen	oppervlakkige infiltratie-bekkens, -vijvers of -grachten	verhoging grondwaterpeilen, verhoging afvoerdebiet
injectie	injectiedebiet of injectiepeil behalen	ondiepe of diepe pompputten	verhoging grondwaterpeilen, verhoging afvoerdebiet
terreinwijziging	terreinwijziging bewerkstelligen	grondwerken, verharding, aanplantingen...	vermindering of vermeerdering van grondwatervoeding

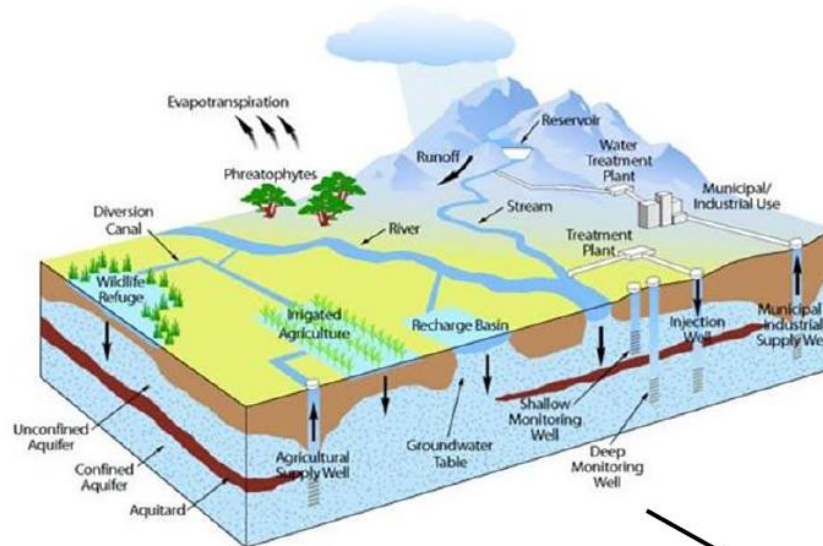
Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



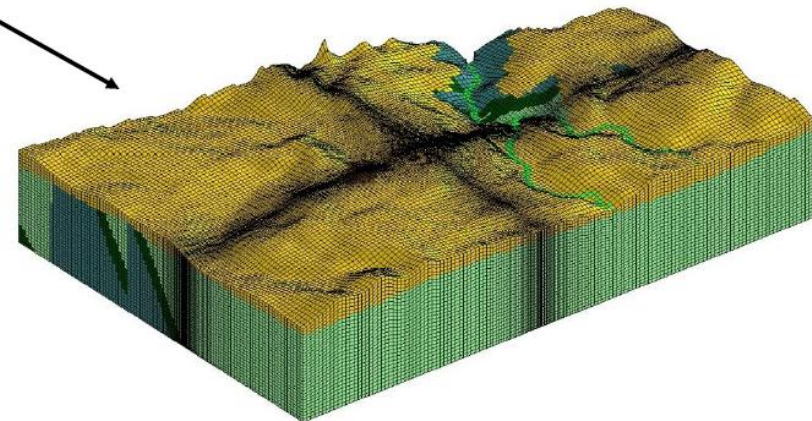
SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER
OVAM



Waarom is modelleren nuttig in verontreinigingsdossiers, hoe betrouwbaar is het en wanneer voegt het waarde toe?



Ex. Finite difference model
(Numerical model)



➔ Model is een HULPMIDDEL, geen doel op zich!

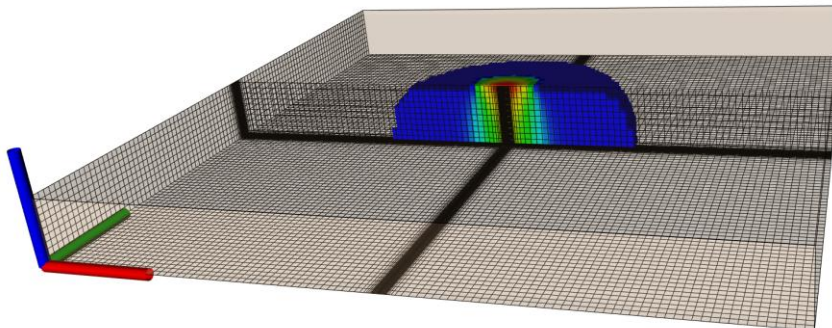
Belangrijkste reden voor numeriek model (ingrepen voorspellen):

- **Testen van bemalings- of saneringsconcept en hypothesen**

Bvb. nakijken of er geen kortsluiting optreedt tussen retourbemaling op een afstand van de onttrekkingsbronnen.

- **Gevoeligheidsanalyse: effect van variatie van parameters nagaan**

Bvb. wat is het effect als de verticale doorlatendheid 10x hoger is dan geschat? Meer parameters nodig dan analytische oplossing, dus meer onzekerheid op modelresultaten.



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



Vlaanderen
is milieu

Actualisatie en uitbreiding van richtlijnen voor bemalingen

11 mei 2026

VLAAMSE
MILIEUMAATSCHAPPIJ

- Verdroging, vernatting, bodemzetting, verplaatsing verontreiniging:
 - grondwatertafelstijging of -daling.
- Invloed op andere grondwaterwinningen:
 - grondwaterpeil in diepere lagen.
- Invloed op de waterbalans:
 - onttrekken of aanvullen van debiet en volume als:
 - waterberging in ondergrond,
 - oppervlakkige afvoer,
 - kwel.
- Invloed op (grond)waterkwaliteit

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



Impactbepaling: bepalen van debiet, totaal volume en grondwaterverlaging

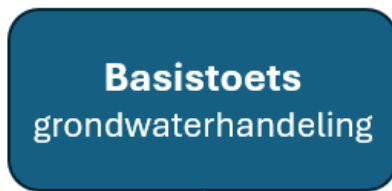
Impactbepaling \neq impactbeoordeling (bv. passende beoordeling)

Verschillende rekenmethoden voor impactbepaling:

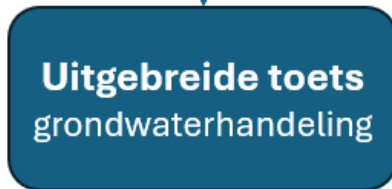
- Analytische rekenmethoden
- Numerieke rekenmethoden
- Andere rekenmethoden (bv. analytische elementen modellen)

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

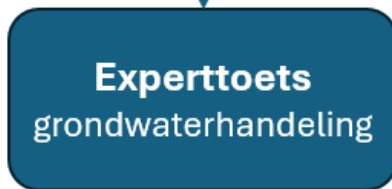




Risico voor omgeving?



Significant negatieve impact
op omgeving?



Uitvoerder

Persoon/instantie met een basiskennis van grondwater:
bv. architect, bouwheer, milieu- of omgevingsambtenaar ...

Grondwateradviseur:
Persoon/instantie met een goede kennis van grondwater, grondwateringreep-effecten en een basiskennis van rekentechnieken.
bv. bemaler, studie bureau milieu, erkende bodemsaneringsdeskundige.

Grondwaterexpert:
Persoon/instantie met diepgaande kennis van grondwatersystemen en grondwatermodellering.
bv. MER-deskundige grondwater of erkend grondwatermodelleur bij OVAM.

Rekenmethode

Voorgeprogrammeerd rekeninstrument
(bv. analytisch rekeninstrument of numerieke rekentool)

Rekeninstrument naar keuze
al dan niet voorgeprogrammeerd, geschikt om de lokale situatie en de ingreep nauwkeurig te kunnen narekenen. De keuze van het rekeninstrument en de aannames worden gemotiveerd in functie van de vraagstelling.

Rekeninstrument aangepast aan de lokale situatie en doelstelling. De keuze en opbouw wordt grondig gemotiveerd en gedocumenteerd. Het instrument wordt aangepast met de beschikbare gegevens en **grondig gekalibreerd**.

Toepassing

Indicatieve inschatting van de invloed op de omgeving. Mag enkel gebruikt worden voor een vergunningsaanvraag/melding indien er **geén enkel risico is voor de omgeving**.

Mag gebruikt worden voor een vergunningsaanvraag/melding waarvan de **impact op de omgeving als niet significant negatief** wordt beoordeeld. De vergunningverlener kan monitoring van debieten, peilen of waterkwaliteit opleggen.

Kan gebruikt worden voor een vergunningsaanvraag/melding indien er **significant negatieve effecten op de omgeving** kunnen optreden. Milderende maatregelen dienen mee in rekening gebracht te worden en omgevingsmonitoring is noodzakelijk.

Na basistoets: risico voor omgeving?

Zettingsrisico verbonden aan de geplande bemaling?

Op basis van lokaal grondonderzoek, DOV ...

Ja

Invloedsstraal reikt tot in een
aandachtsgebied voor bemalingen?

Bijlage 6.5

Ja

Ligt er een **grondwaterverontreiniging** in de directe omgeving waar een impact op verwacht wordt? *

Ja

Is het onttrokken dagdebiet hoger dan **2.500 m³/dag**?

Ja

Risico

Na uitgebreide toets: significant negatieve impact op omgeving?

Negatief oordeel passende beoordeling of verscherpte natuurtoets?

Ja

Onaanvaardbaar effect op **grondwaterverontreiniging**? *

Ja

Significante negatieve impact

* Zie richtlijnen opgesteld door OVAM

Toepassingsgebied rekenmethoden

Analytische formules

Idealiter toe te passen onder volgende omstandigheden:

- homogene aquifer binnen de invloedsstraal van de bemaling
- watervoerende laag die oneindig uitgestrekt is
- bemalingselementen zijn zo volkomen mogelijk
- afwezigheid van randvoorwaarden zoals waterlopen, drainages, wanden ...
- geen retourbemaling of infiltratie

Freatisch grondwater

Radiale stroming (bouwputten)

Formule van Sichardt en Dupuit *
Enkel voor initieel bemalingsdebiet

Formule van Dupuit *
Iteratief

Formule van Verruijt *
Iteratief

Formule van Hantush
Weerstand grondwaterstroming waterlopen

Parallele stroming (sleuven)

Formule van Edelman **
lijntrajecten (max. 300 m en min. 25 m)

* zie rekeninstrument VMM voor bemaling bouwput

** zie rekeninstrument VMM voor bemaling van een lijntraject

Gespannen grondwater met een lage weerstand tegen lek

Formule van De Glee
Voeding door lek

Formule van Hantush
Tijdsafhankelijk

Gespannen grondwater

Formule van De Glee
Hoge weerstand afsluitende laag

Formule van Hantush
Hoge weerstand afsluitende laag

Formule van Theis
Voeding door elastische berging

+ analytische formules voor meerlagige systemen zoals MWell en MLU

Numerieke methodes

Numeriek model aangepast aan de lokale situatie en doelstelling

- Complexe bemaling, bv. verschillende bemalingsdieptes binnen één project
- Bemalingen die elkaar onderling beïnvloeden
- Complexe ondergrond, bv. afwisseling verschillende aquifers, wisselende doorlatendheden
- Ontwerp van retourbemaling en oppervlakkige infiltratie
- Effectbepaling (partiële) waterremmende wanden
- Effectbepaling naburig oppervlaktewater

Grondwatersimulator

- Bemalingen in de freatische watervoerende laag (dus geen spanningsbemaling)
- Niet geschikt om de werking van een bemalingsconcept af te toetsen
- Niet geschikt voor complexe ondergrond, bv. afwisseling van quartaire lagen met wisselende doorlatendheden
- Minder geschikt voor retourbemaling of infiltratie

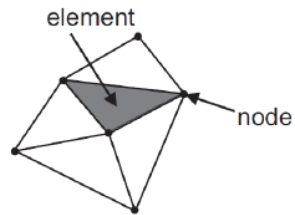
Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



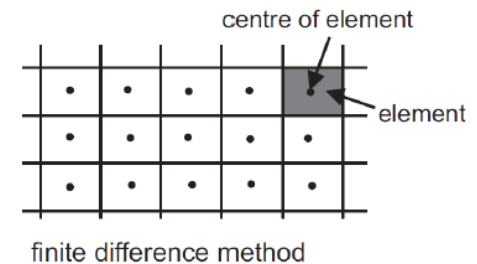
SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER
OVAM



- Eindige-verschillen (“Finite-difference”) codes:
 - Modflow (USGS, gratis), enkel rekencode zonder user interface
 - Belangrijkste versies: Modflow-2005, Modflow-NWT (droge cellen), Modflow 6 (nieuwste: tijdsafhankelijke wanden bv.)
 - Beschikbare user interfaces:
 - Modelmuse (USGS, gratis)
 - Groundwater Vistas (betalend)
 - GMS (betalend)
 - Visual Modflow (betalend)



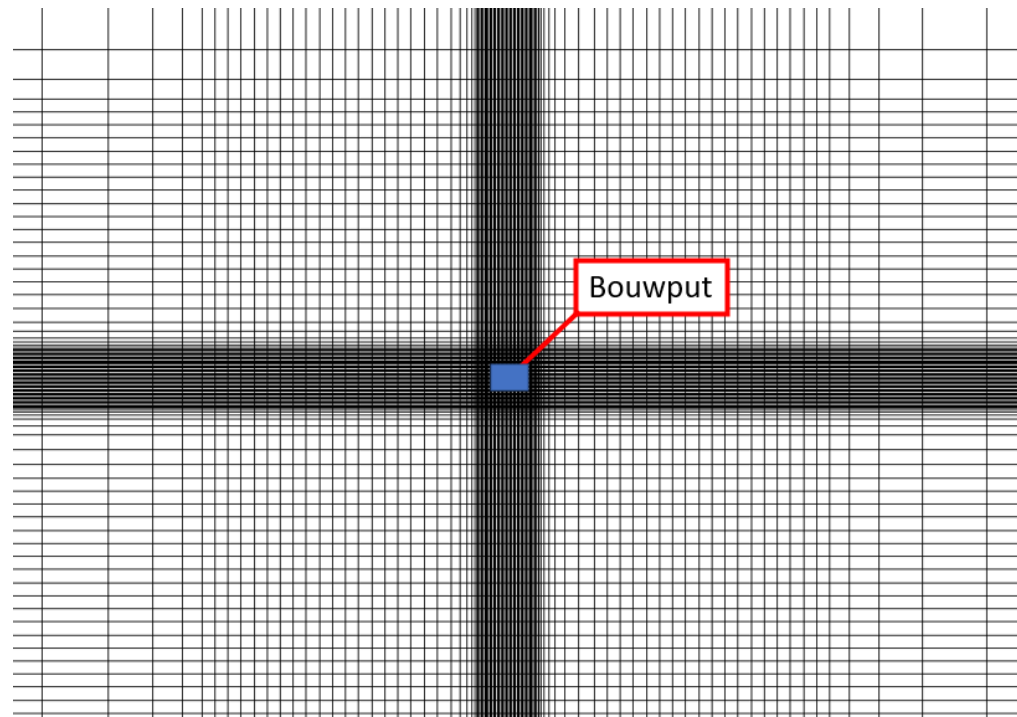
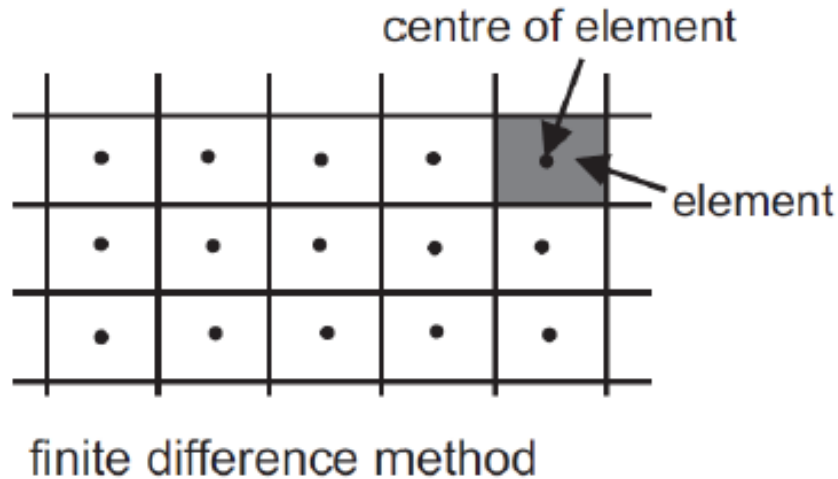
finite element method



- Eindige-elementen (“Finite-element”) codes:
 - Feflow (betalend: duur), zowel rekencode als user interface.
 - MicroFEM (betalend, relatief goedkoop)

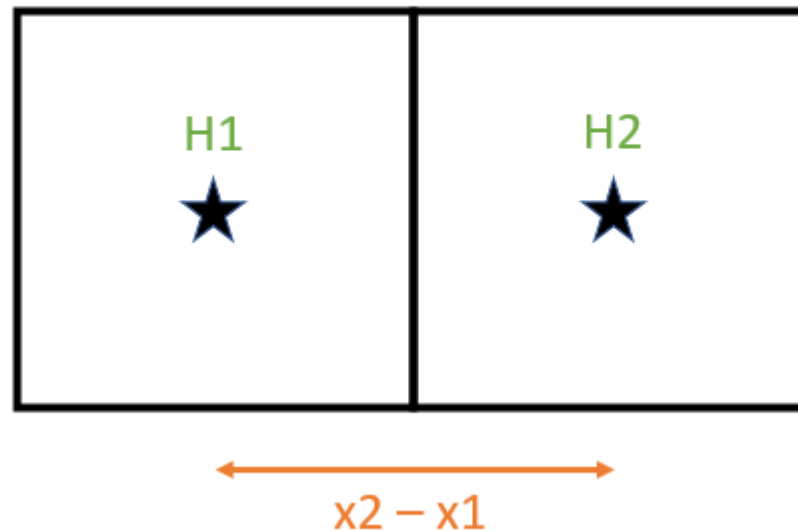
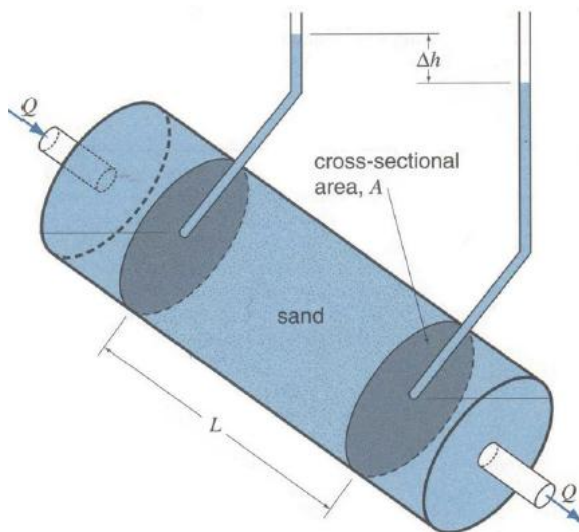
Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

- In elke cel wordt druk en massabalans uitgerekend in het centrum van de cel (niet aan de randen) → verfijnde discretisatie noodzakelijk voor relevante resultaten!



- In elke cel wordt druk en massabalans uitgerekend in het centrum van de cel (niet aan de randen) → verfijnde discretisatie noodzakelijk voor relevante resultaten!
- Grondwaterstroming bepaald door Wet van Darcy

$$Q = \underline{K.A.dH/dx} \approx K.A.\Delta H/\Delta x = K.A.(H2 - H1) / (x2 - x1)$$



- Tijdsafhankelijke grondwaterstroming in 3D
- Wet van Darcy + waterbalans

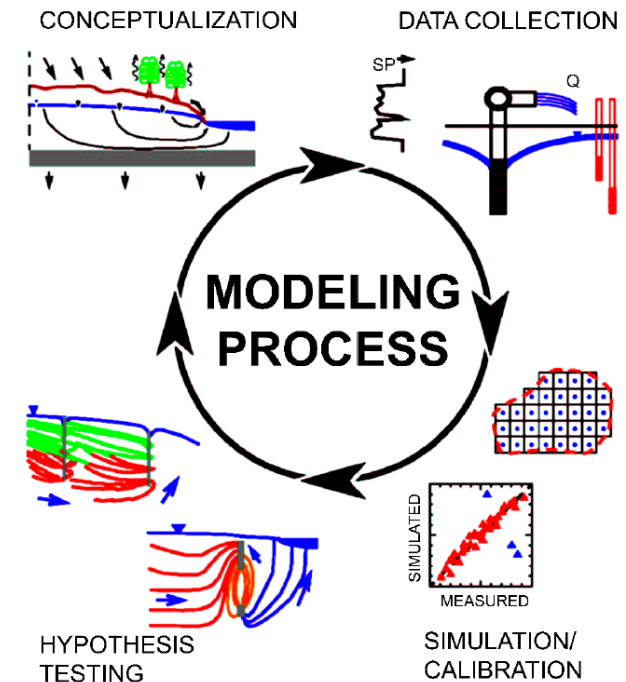
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Darcy's law + continuity

Sources and sinks

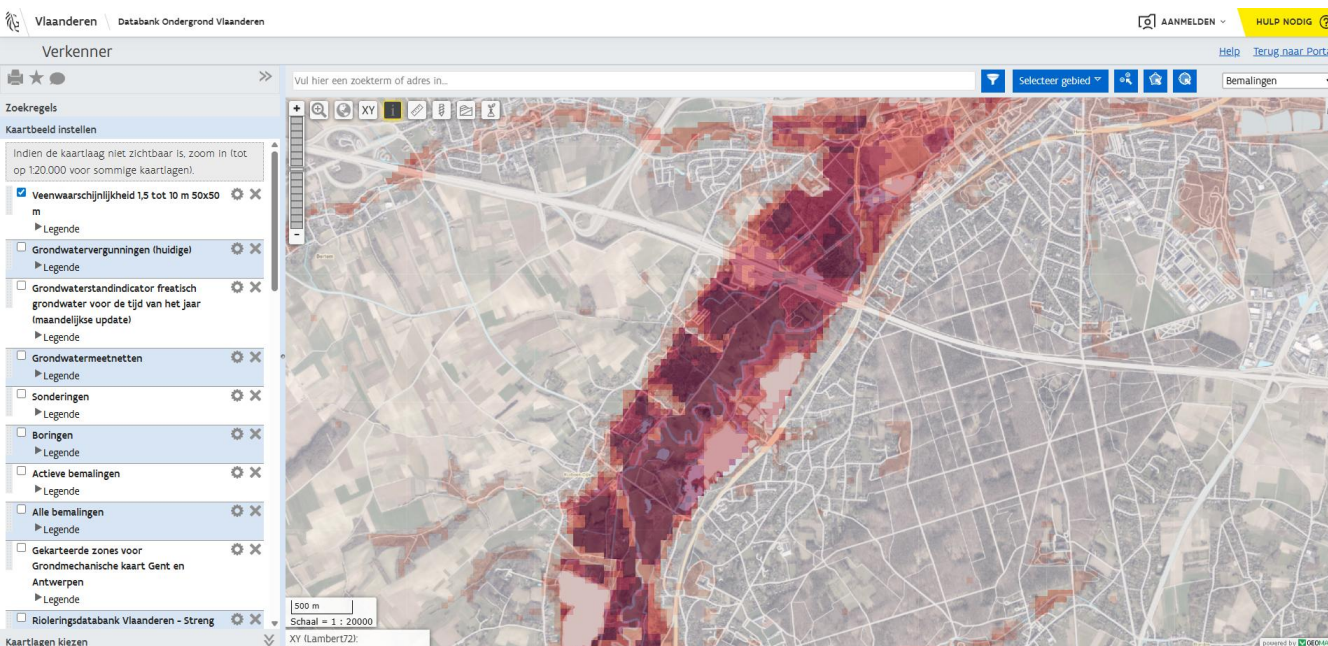
Transient flow term

- Conceptueel model en gegevensverzameling;
- Opstellen van een basismodel;
- (Gevoeligheidsanalyse, kalibratie en validatie);
- Scenarioberekeningen;
- (Onzekerheidsanalyse op de scenarioberekeningen);
- Verwerken en weergeven van de modelresultaten;
- Interpretatie van de modelresultaten.



1) Gegevensverzameling en omgevingscreening

- Projectgegevens
 - Hydrogeologische opbouw projectgebied
 - Grond(water)onderzoek (sonderingen, boringen, peilbuizen)
 - Randvoorwaarden ruimere omgeving (omgevingscreening: aandachtsgebieden, bestemming, verontreiniging, zettingen, ...)
- ➔ Overzicht ontbrekende gegevens
- ➔ Aanbevelingen uit te voeren grondonderzoek

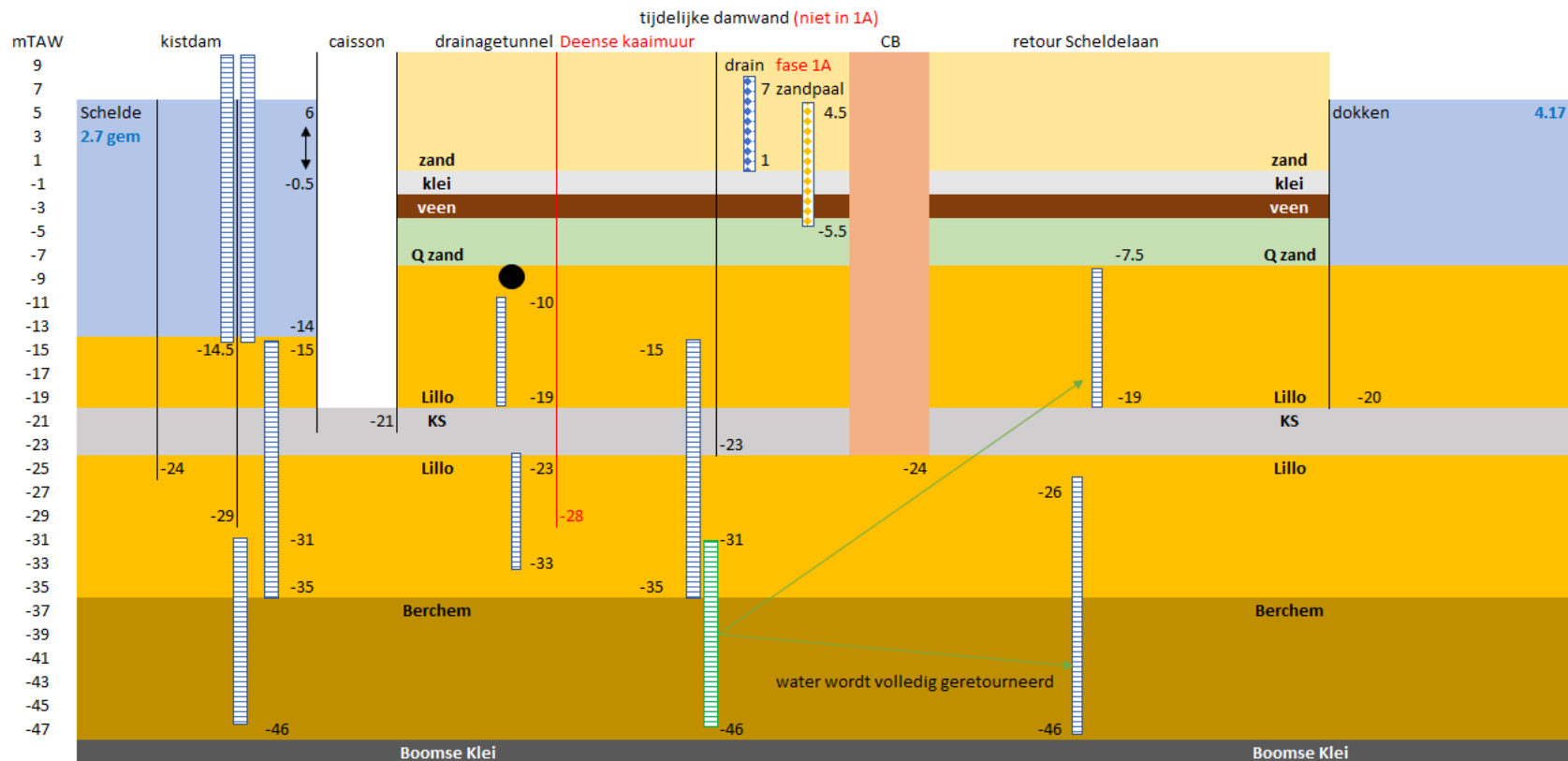


Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



2) Concept bepalen

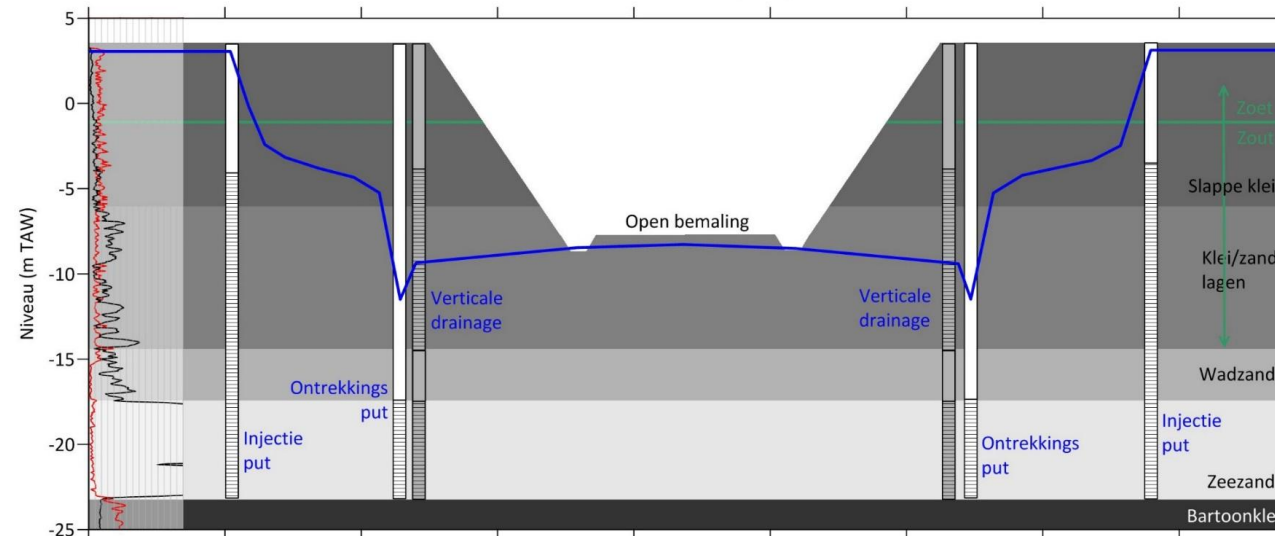
- Wat wil je modelleren?
 - Welke techniek?
- ➔ Een model heeft immers slechts een voorspellende kracht voor de specifieke context waarvoor het is opgesteld.



2) Concept bepalen

- Hoe groot en hoe gedetailleerd moet het model zijn om de bemaling te dimensioneren en de impact op de omgeving te omvatten?
- Welke hydrogeologische eenheden/lagen moeten opgenomen worden en welke zijn minder belangrijk in functie van het bemalingsontwerp?
- Welke hydrologische randvoorwaarden (waterlopen, breuken, wanden...) zijn belangrijk voor de bemalingsingreep en de effecten op de omgeving?

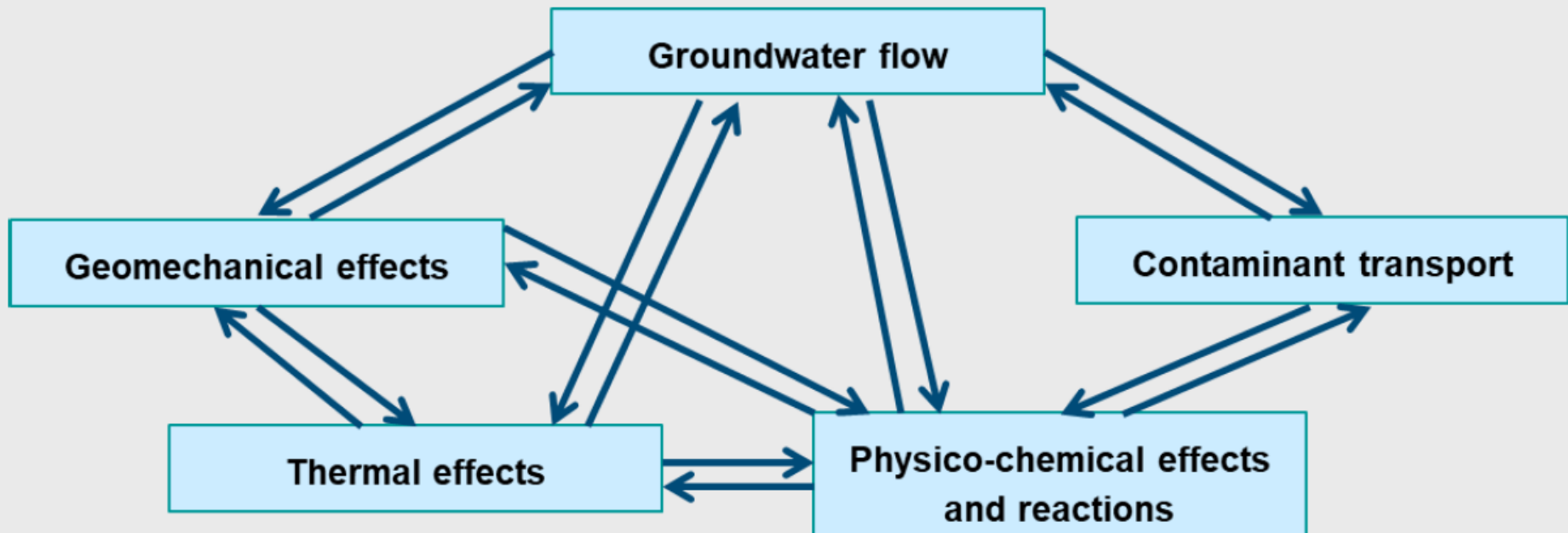
K51-55 centrum uitgraving



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

2) Concept bepalen

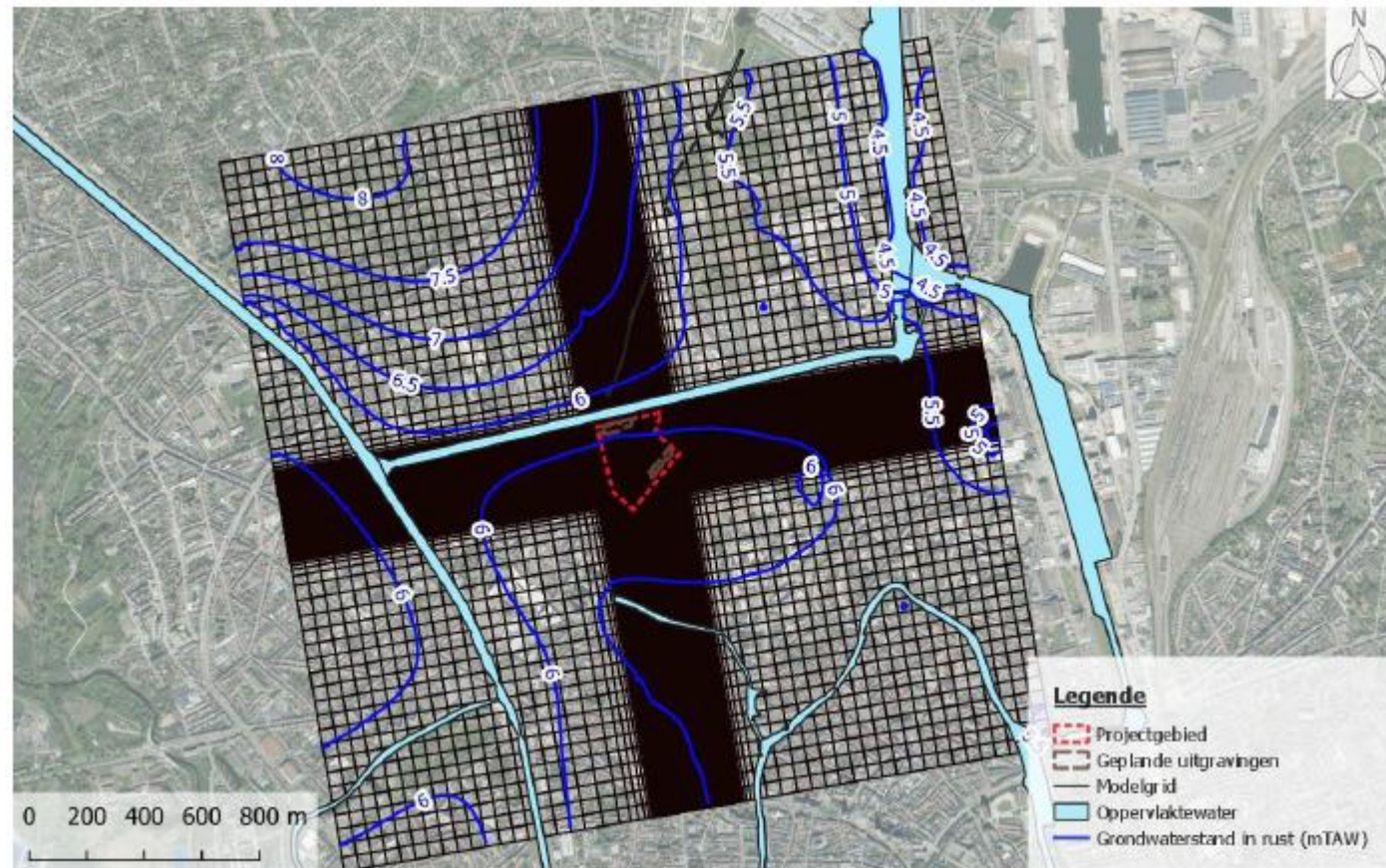
Coupling of processes



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

3) Horizontale afbakening en indeling in modelcellen

- Grenzen ver genoeg (buiten invloed) met juiste randvoorwaarden om GWP en stroming goed te benaderen
- Afweging fijne discretisatie – rekestijd



3) Verticale afbakening en indeling in modellagen

- Top van de aquitard = basis model (!als 1^e aquitard op grote diepte voorkomt, rekening houden met lagere Kv)
- Maaiveld = top model
- Verticale indeling:
 - belangrijkste hydrogeologische lagen (!!Dit kan meer zijn dan de lagen uit het H3D-model, zoals een lokale dunne kleilaag die belangrijk is voor het bemalingsconcept);
 - bemalingsingrepen en andere modelrandvoorwaarden op de juiste diepte;
 - dikke modellagen opdelen om de verticale stroming nauwkeuriger te simuleren.

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER
OVAM



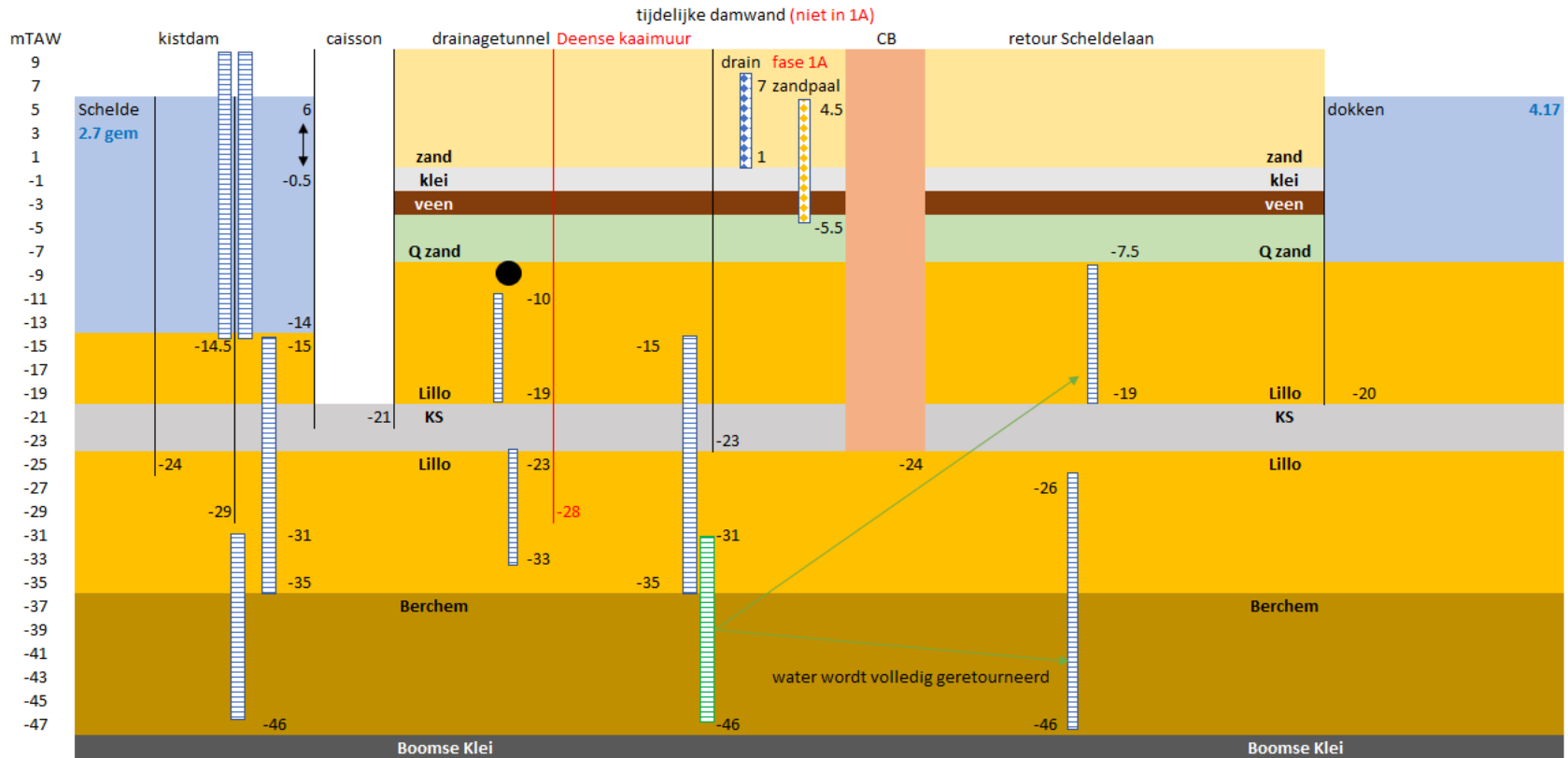
3) Verticale afbakening en indeling in modellagen

Laag	Top (mTAW)	Basis (mTAW)	Lithologie	Kh (m/d)	Kv (m/d)	Ss	Sy
	9	1	opgespoten zand	5	1.67	0.0001	0.1
	1	-1	klei	0.001	0.001	0.001	0.03
	-1	-3	veen	0.1	0.1	0.001	0.1
	-3	-7	quartair zand	5	1.67	0.0001	0.1
	-7	-20	Lillo	12	4	0.0001	0.15
	-20	-23	Kruisschans	1	1/0.1	0.0001	0.05
	-23	-35	Lillo/Kattendijk	12	4	0.0001	0.15
	-35	-46	Berchem	5	1.67	0.0001	0.1

basis model = Boomse Klei

Laag	Top (mTAW)	Basis (mTAW)	Bemaling
1	9	2.5	top drain +7
2	2.5	1	top zandpaal
3	1	-1	basis drain
4	-1	-3	
5	-3	-5.5	basis zandpaal
6	-5.5	-7	top prefabbron
7	-7	-7.5	
8	-7.5	-8	top retour ondiep
9	-8	-12	top ondiepe bron tunnel
10	-12	-14.5	basis prefabbron, basis Schelde
11	-14.5	-15	
12	-15	-19	basis retour ondiep, top bron door KS, basis ondiepe bron tunnel
13	-19	-20	basis wand dok
14	-20	-21	basis caissons
15	-21	-23	basis tijdelijke damwand
16	-23	-24	basis kistdam L, basis cementbentoniet wand, top diepe bron tunnel
17	-24	-26	
18	-26	-28	top retour diep
19	-28	-29	basis kistdam R
20	-29	-31	
21	-31	-35	top diepe bron, basis bron door KS, basis diepe bron tunnel
22	-35	-46	basis retour diep, basis diepe bron

3) Verticale afbakening en indeling in modellagen



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

- alle hydrologische elementen die van invloed kunnen zijn op het grondwatersysteem: grondwatervoeding, oppervlaktewater, andere onttrekkingen, wanden, drainages, infiltraties ...
- Opgelegd debiet: “WELL” → onttrekkingsput of infiltratiezone met gekend debiet invoeren
 - Opgelegd drainagepeil: “DRAIN” → peil instellen met bepaalde weerstand, debiet wordt berekend voor zover drainpeil < GWP
 - Opgelegd infiltratie-/injectiepeil: “GHB” → peil instellen met infiltratieweerstand, debiet wordt berekend (draineren ↔ injecteren)
 - “RCH” voor grondwatervoeding, verharding, infiltratie
 - “RIVER” voor waterlopen (gelijkaardig aan GHB, maar met limiet op infiltratieflux als $GWP < \text{bodem waterloop}$)

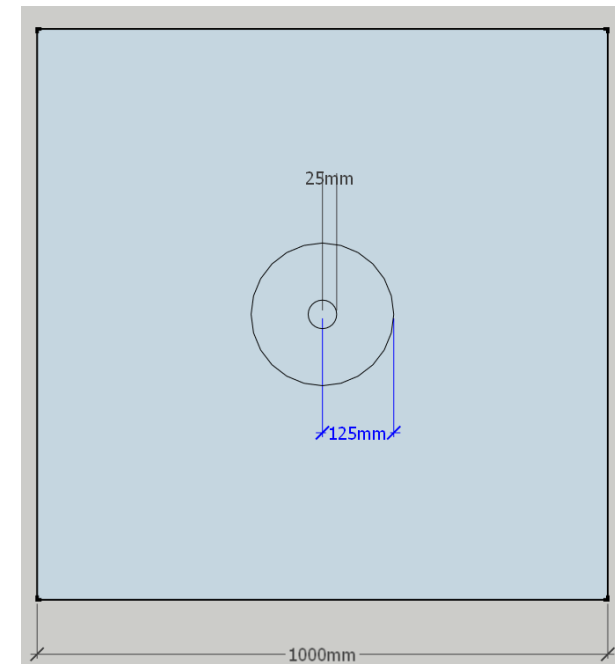
Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



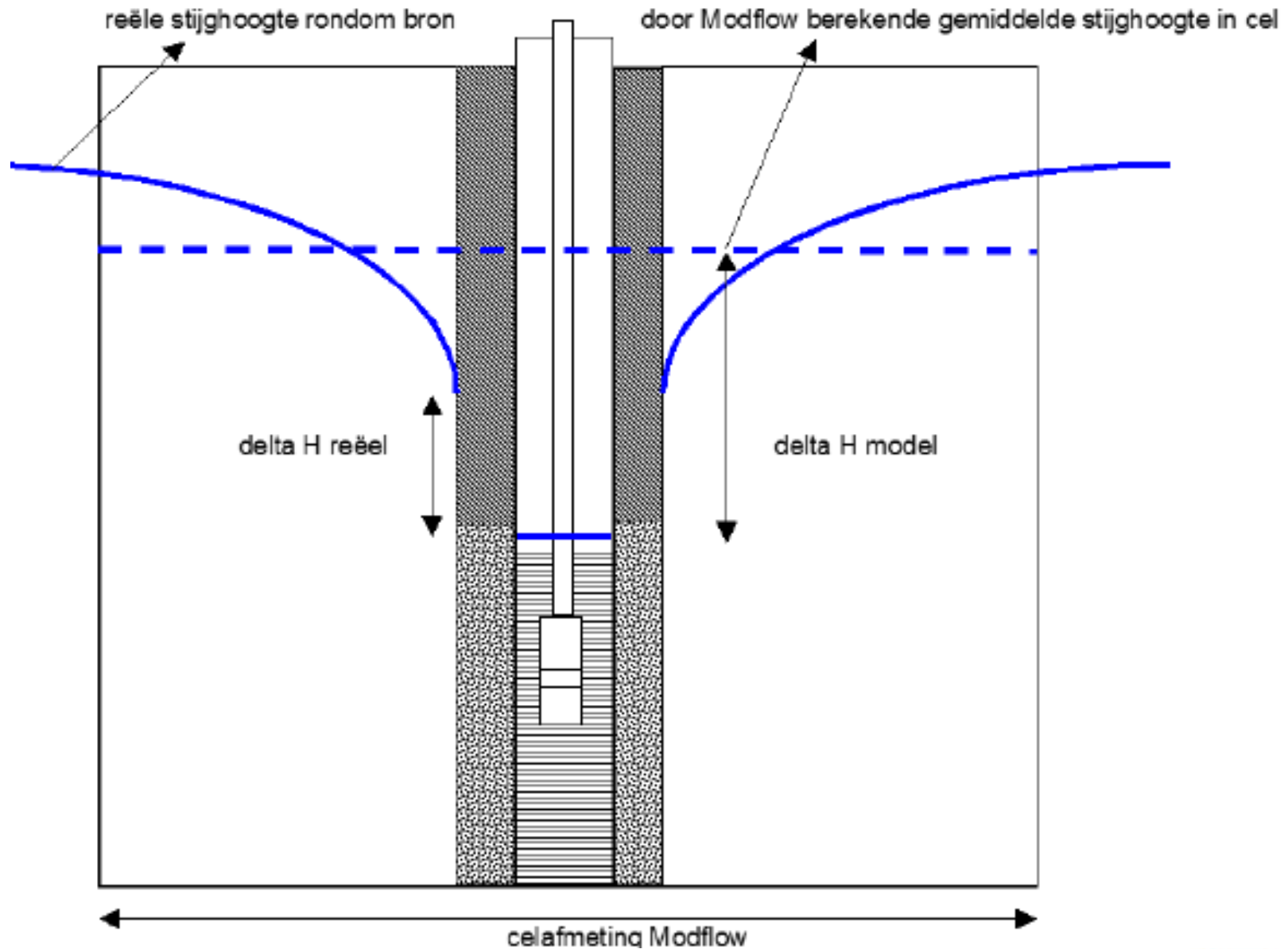
SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER
OVAM



- ➔ Rekenweerstand: celgrootte $1 \times 1 \text{ m}^2 \gg$ diameter filterbuis (50-250 mm).
- ➔ Fysische putweerstand: verlaging in pompputten meestal groter dan wat calibratie op peilput zou doen vermoeden
 - Lineaire verliezen: ten gevolge van fijne deeltjes op boorgatwand en dergelijke.
 - Niet-lineaire verliezen: ten gevolge van o.a. turbulenties in filter (niet-laminaire stroming).



4) Invoeren bemaling: bron/filter



→ Rekenweerstand:

- Optie 1: voldoende verzadigde hoogte voorzien in filter, zodat bemaling ook zal werken als dieper in de filterbuis wordt afgepompt.
- Optie 2: weerstand van DRAIN-randvoorwaarde verhogen zodat afpompings in filterbuis groter wordt, hiervoor bestaan er formules.
- Optie 3: cellen verkleinen tot oppervlakte van individuele filterbuis. In praktijk lastig, leidt tot zeer veel cellen. Mogelijke oplossing: Modflow-USG of Modflow 6: lokale verfijning. Probleem: tragere solver, minder nauwkeurig.

→ Fysische putweerstand:

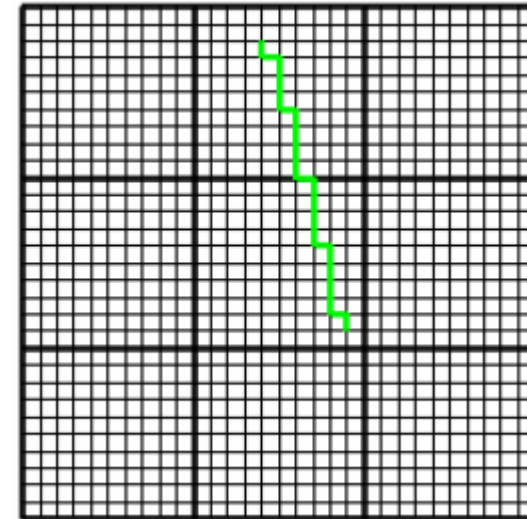
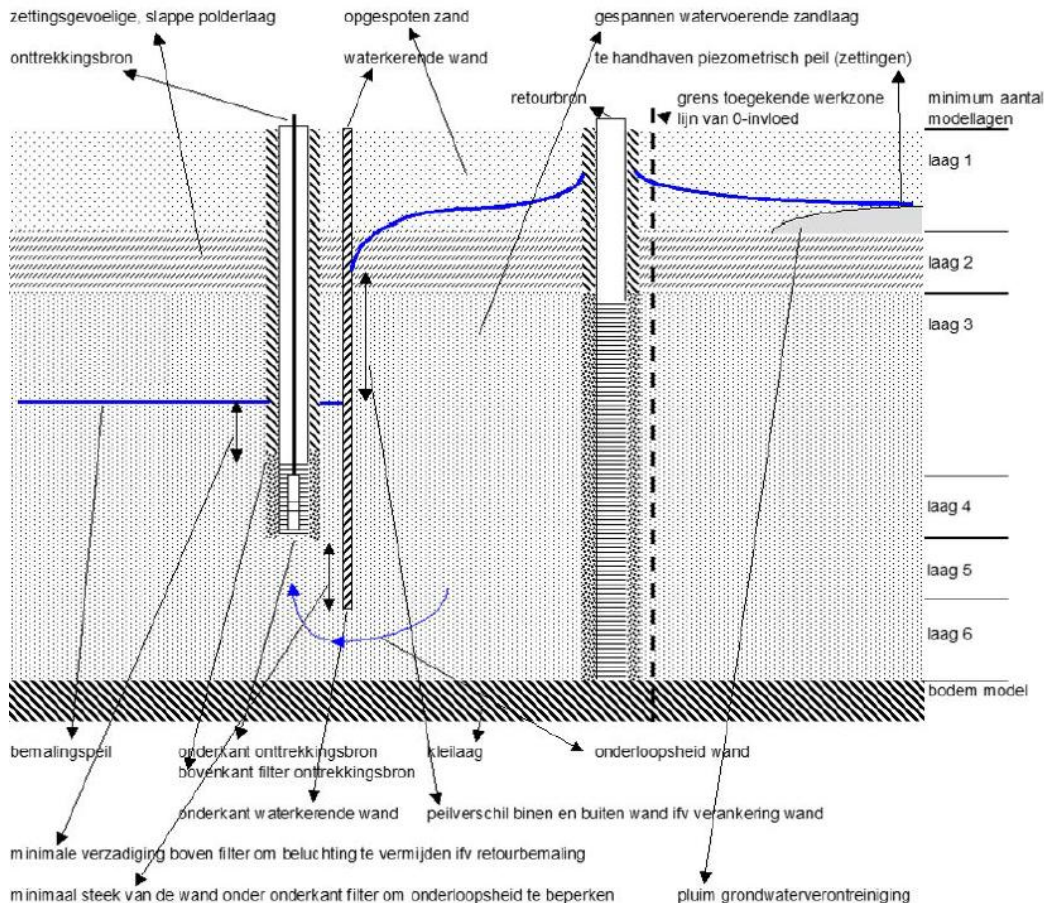
- Optie 1: idem
- Optie 2: idem: weerstanden in serie beschouwen = optellen.
Bijvoorbeeld uitgaan van 70 % putefficiëntie (theoretische/werkelijke verlaging in put).

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

- Opgelegde stijghoogte in combinatie met een aangepaste conductantieterm (MODFLOW DRAIN-pakket) in functie van het verschil in celafmeting en bronafmeting (conductantie = 1/weerstand)
- Rekenweerstand > effectieve hydraulische putweerstand
- Benadering van de reële opnamecapaciteit van een put
- Indien met dit aspect geen rekening gehouden wordt bij het bepalen van het aantal noodzakelijke bronnen en hun onderlinge tussenafstand, is het resultaat van het model absoluut onbetrouwbaar en waardeloos.
- Maximale stroomsnelheid v_{max} (m/s) < $\frac{\sqrt{K}}{15}$

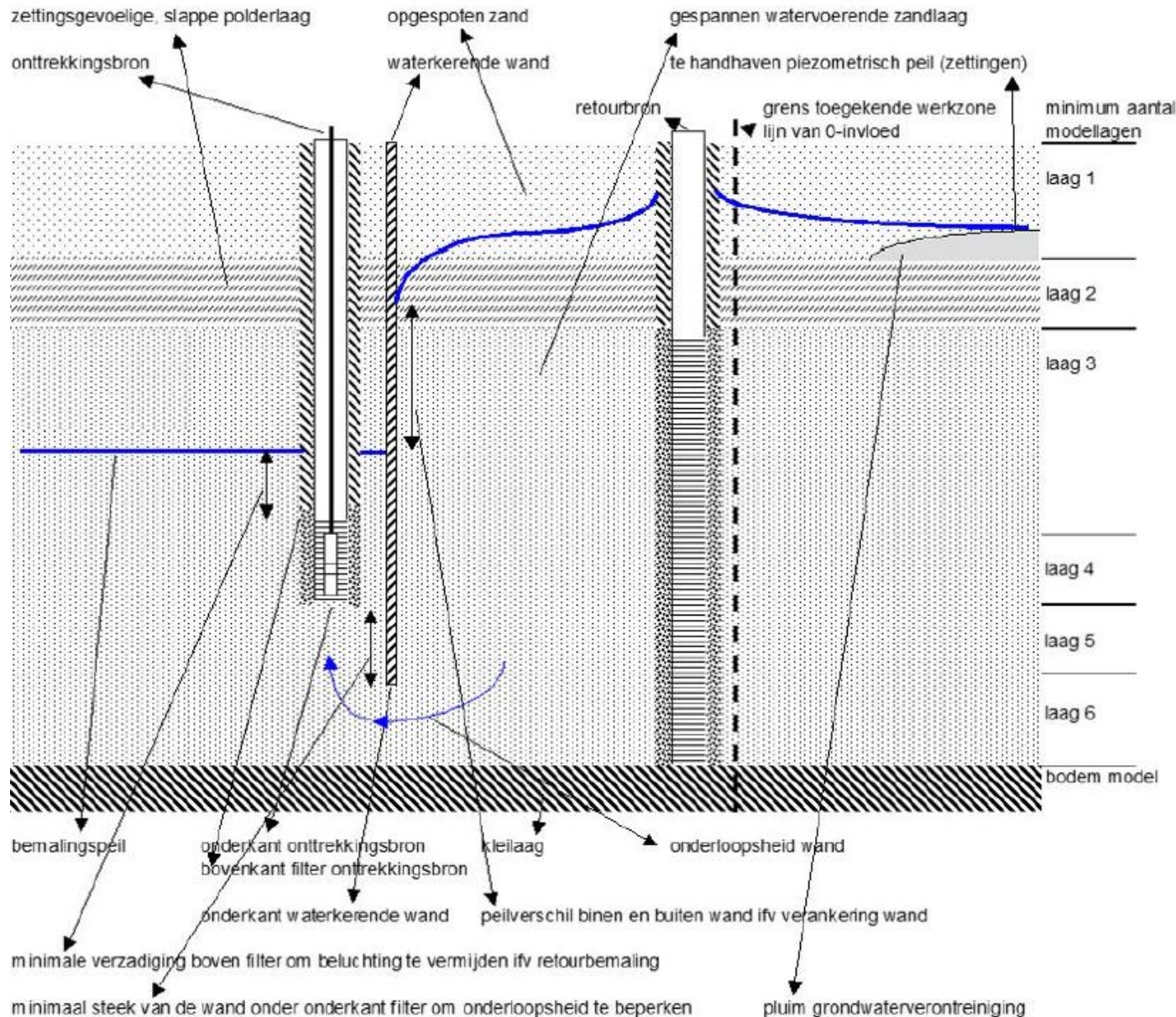
4) Invoeren bemaling: wanden

- ➔ “Horizontal Flow Barrier”
- ➔ Horizontale stromingsweerstand tussen 2 cellen (bv. wanddikte/horizontale doorlatendheid => 500 dagen weerstand)



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

4) Invoeren bemaling: wanden



van de bodemdeskundige 7 mei 2026

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM



- ➔ Inschatting reel opnamevermogen bron
- ➔ Opgelegd injectiepeil met **conservatieve** conductantieterm (1/weerstand)
- ➔ “GHB”
- ➔ Opnamecapaciteit neemt af in de tijd! (meer retour dan onttrekking voorzien)
 - het verlagen van de redoxgrens tot in het filterelement;
 - het onvoldoende op druk houden van de retourleidingen waardoor ontgassing optreedt;
 - het beschadigen van leidingen tijdens de werkzaamheden met beluchting en drukverlies tot gevolg;
 - het onvoldoende ontwikkelen van de onttrekkingsbronnen waardoor te veel vaste deeltjes worden verpompt die de retourputten verstoppem (hoge MFI).

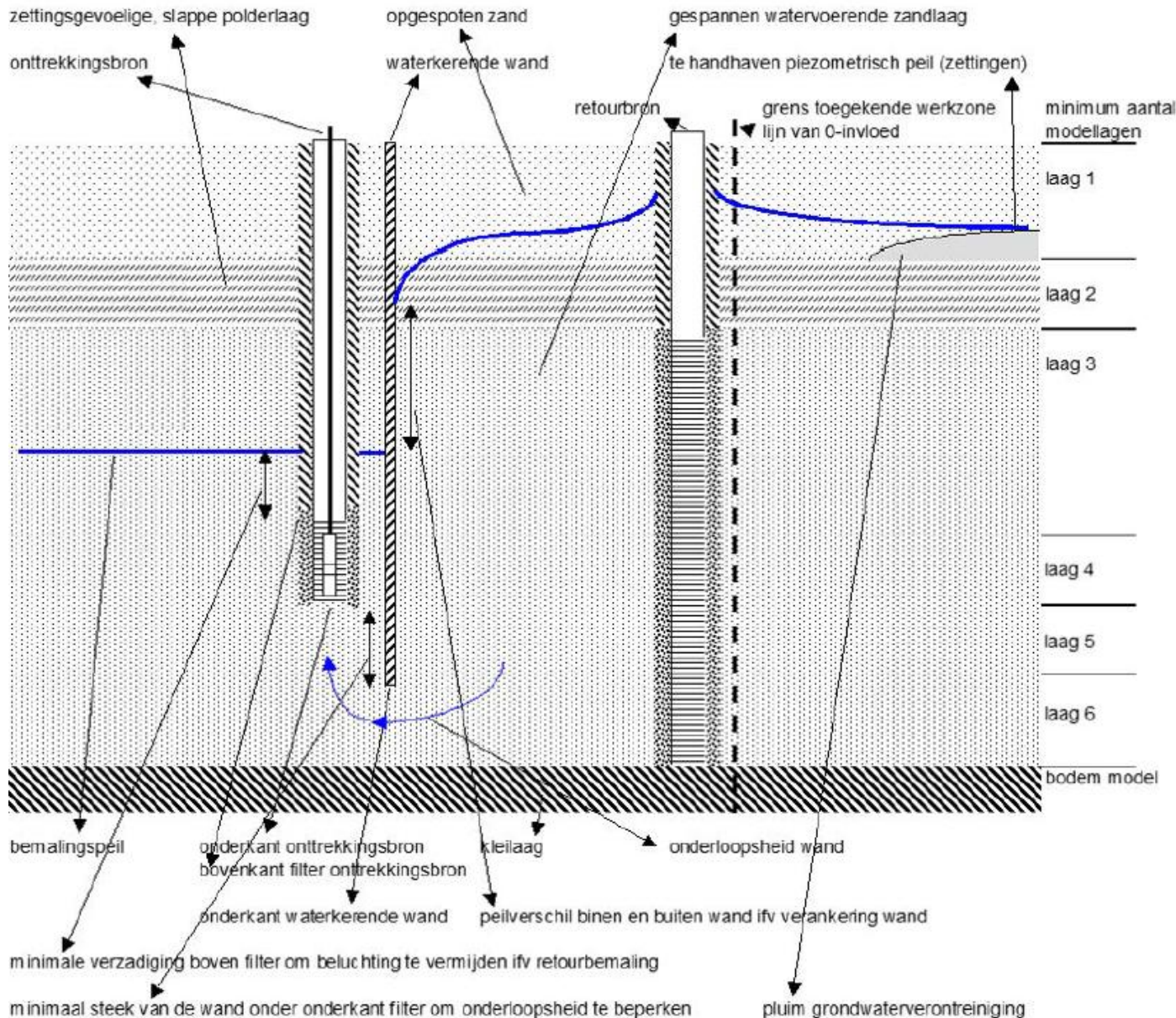
Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER
OVAM



4) Invoeren bemaling: retourputten



van de bodemdeskundige 7 mei 2026

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM



MODELOPBOW				ZONE B (ZUID)				ZONE A (NOORD)				RINGVAART	KANAAL	WANDEN PER MOOT							FILTERS		DRAIN	BRONNEN				RETOUR								
laag	Lithologie	Top (mTAW)	Basis (mTAW)	Dikte (m)	Kh (m/d)	Kv (m/d)	Ss (1/m)	Sy (-)	Kh (m/d)	Kv (m/d)	Ss (1/m)			Sy (-)	28-26	25-24	23	22-21	20-10	9-8	7-5	4-1		BUITEN	BINNEN	TUNNEL	POMPKAMER		SPANNING							
1	Laag I - heterogene toplaag	7.00	4.00	3.00	1.7	0.10	1.0E-02	0.10	2.0	0.10	1.0E-02	0.10																								
2	Laag I - heterogene toplaag	4.00	3.00	1.00	3.0	1.00	1.0E-05	0.20	3.0	0.80	1.0E-05	0.20																								
3	Laag I - heterogene toplaag	3.00	2.00	1.00	3.0	1.00	1.0E-05	0.20	3.0	0.80	1.0E-05	0.20																								
4	Laag I - heterogene toplaag	2.00	1.00	1.00	3.0	1.00	1.0E-05	0.20	3.0	0.80	1.0E-05	0.20																								
5	Laag I - heterogene toplaag	1.00	0.00	1.00	3.0	1.00	1.0E-05	0.20	3.0	0.80	1.0E-05	0.20																								
6	Laag I - heterogene toplaag	0.00	-1.00	1.00	3.0	1.00	1.0E-05	0.20	3.0	0.80	1.0E-05	0.20																								
7	Laag I - heterogene toplaag	-1.00	-2.00	1.00	3.0	1.00	1.0E-05	0.20	3.0	0.80	1.0E-05	0.20																								
8	Laag I - heterogene toplaag	-2.00	-3.00	1.00	3.0	1.00	1.0E-05	0.20	3.0	0.80	1.0E-05	0.20																								
9	Laag II - leemlaag	-3.00	-4.00	1.00	0.10	0.10	7.7E-04	0.10	0.04	0.04	3.7E-04	0.10																								
10	Laag II - leemlaag	-4.00	-5.00	1.00	0.10	0.10	7.7E-04	0.10	0.04	0.04	3.7E-04	0.10																								
11	Laag II - leemlaag	-5.00	-6.00	1.00	0.10	0.10	7.7E-04	0.10	0.04	0.04	3.7E-04	0.10																								
12	Laag III - zand	-6.00	-7.00	1.00	12.0	4.00	3.7E-05	0.20	4.5	0.70	5.0E-05	0.20																								
13	Laag III - zand	-7.00	-8.00	1.00	12.0	4.00	3.7E-05	0.20	4.5	0.70	5.0E-05	0.20																								
14	Laag III - zand	-8.00	-9.00	1.00	12.0	4.00	3.7E-05	0.20	4.5	0.70	5.0E-05	0.20																								
15	Laag III - zand	-9.00	-10.00	1.00	12.0	4.00	3.7E-05	0.20	4.5	0.70	5.0E-05	0.20																								
16	Laag IV - leemlaagje (enkel zone B)	-10.00	-11.00	1.00	0.1	0.10	7.7E-04	0.10	4.5	0.70	5.0E-05	0.20																								
17	Laag IV - leemlaagje (enkel zone B)	-11.00	-12.00	1.00	0.1	0.10	7.7E-04	0.10	4.5	0.70	5.0E-05	0.20																								
18	Laag V - Zand van Oedelem	-12.00	-13.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
19	Laag V - Zand van Oedelem	-13.00	-14.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
20	Laag V - Zand van Oedelem	-14.00	-15.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
21	Laag V - Zand van Oedelem	-15.00	-16.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
22	Laag V - Zand van Oedelem	-16.00	-17.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
23	Laag V - Zand van Oedelem	-17.00	-18.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
24	Laag V - Zand van Oedelem	-18.00	-19.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
25	Laag VI - Zand van Vierzele	-19.00	-20.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
26	Laag VI - Zand van Vierzele	-20.00	-21.00	1.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
27	Laag VI - Zand van Vierzele	-21.00	-30.00	9.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
28	Laag VI - Zand van Vierzele	-30.00	-33.00	3.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
29	Laag VI - Zand van Vierzele	-33.00	-35.00	2.00	4.50	1.10	3.7E-05	0.20	4.50	0.70	5.0E-05	0.20																								
30	Laag VII - Klei van Pittem	-35.00	-37.00	2.00	0.09	0.09	1.0E-05	0.10	0.09	0.09	1.0E-05	0.10																								
31	Laag VII - Klei van Pittem	-37.00	-38.00	1.00	0.09	0.09	1.0E-05	0.10	0.09	0.09	1.0E-05	0.10																								
32	Laag VII - Klei van Pittem	-38.00	-45.00	7.00	0.09	0.09	1.0E-05	0.10	0.09	0.09	1.0E-05	0.10																								
33	Laag VII - Klei van Pittem - kleiliger	-45.00	-51.00	6.00	0.01	0.001	5.0E-04	0.03	0.01	0.001	5.0E-04	0.03																								

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



5) Invoeren bemaling: infiltratie

- ➔ “RCH” (voeding opleggen) of “GHB” (stijghoogte)
- ➔ Opnamecapaciteit vermindert met de tijd door oxidatieverschijnselen en/of biologische activiteit



- ➔ Modelparameters zijn variabelen die per cel gevarieerd kunnen worden: horizontale en verticale doorlatendheden, de vrije en elastische berging, de effectieve porositeit
- Horizontale doorlatendheid (m/d): bemalingsdebiet en uitbreiding afpompingskegel (Kh hoog: kegel platter minder verlaging dichtbij, meer verlaging op afstand)
 - Verticale doorlatendheid (m/d): belangrijk indien bemaling uitgevoerd wordt boven/onder kleilaag met beperkte Kv (Kv laag: minder voeding, hoe groter afpompingskegel) – typisch 3x tot 10x lager dan Kh

Table 0.1 Hydraulic conductivity ranges of different materials

Material	k (m/d)
Clay	< 0.0001
Sandy clay	0.0001 – 0.001
Peat	0.0001 – 0.01
Silt	0.001 – 0.01
Very fine sand	0.1 – 1
Fine sand	1 – 10
Coarse sand	10 – 100
Sand with gravel	100 – 1000
Gravel	> 1000

Source: Modified from Verruijt (1970).

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



- ➔ Modelparameters zijn variabelen die per cel gevarieerd kunnen worden: horizontale en verticale doorlatendheden, de vrije en elastische berging, de effectieve porositeit
- Effectieve porositeit (-): belangrijk bij stroombaan- en transportberekeningen, hoe lager ne, hoe sneller het grondwater door de poriën stroomt bij eenzelfde verschil in stijghoogte en hoe sneller een stof opgelost in grondwater zal verplaatsen

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER
OVAM



- ➔ Modelparameters zijn variabelen die per cel gevarieerd kunnen worden: horizontale en verticale doorlatendheden, de vrije en elastische berging, de effectieve porositeit
- Berging enkel relevant bij tijdsafhankelijke bemalingen vooral in het begin: hoe groter berging, hoe meer grondwater moet worden weggepompt om verlaging te bereiken dus hoe trager de afpompingskegel uitbreidt ➔ als onttrekking in evenwicht komt met grondwatervoeding stopt uitbreiding (geen berging meer)
 - Vrije berging in freatische aquifers
 - Elastische berging gespannen aquifers

Table 0.3 Specific storage values of different materials

Material	$S_s (m^{-1})$
Clay	$1 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$
Sand	$1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-3}$

Source: Modified from Anderson et al. (2015).

Table 0.2 Phreatic storage of different materials

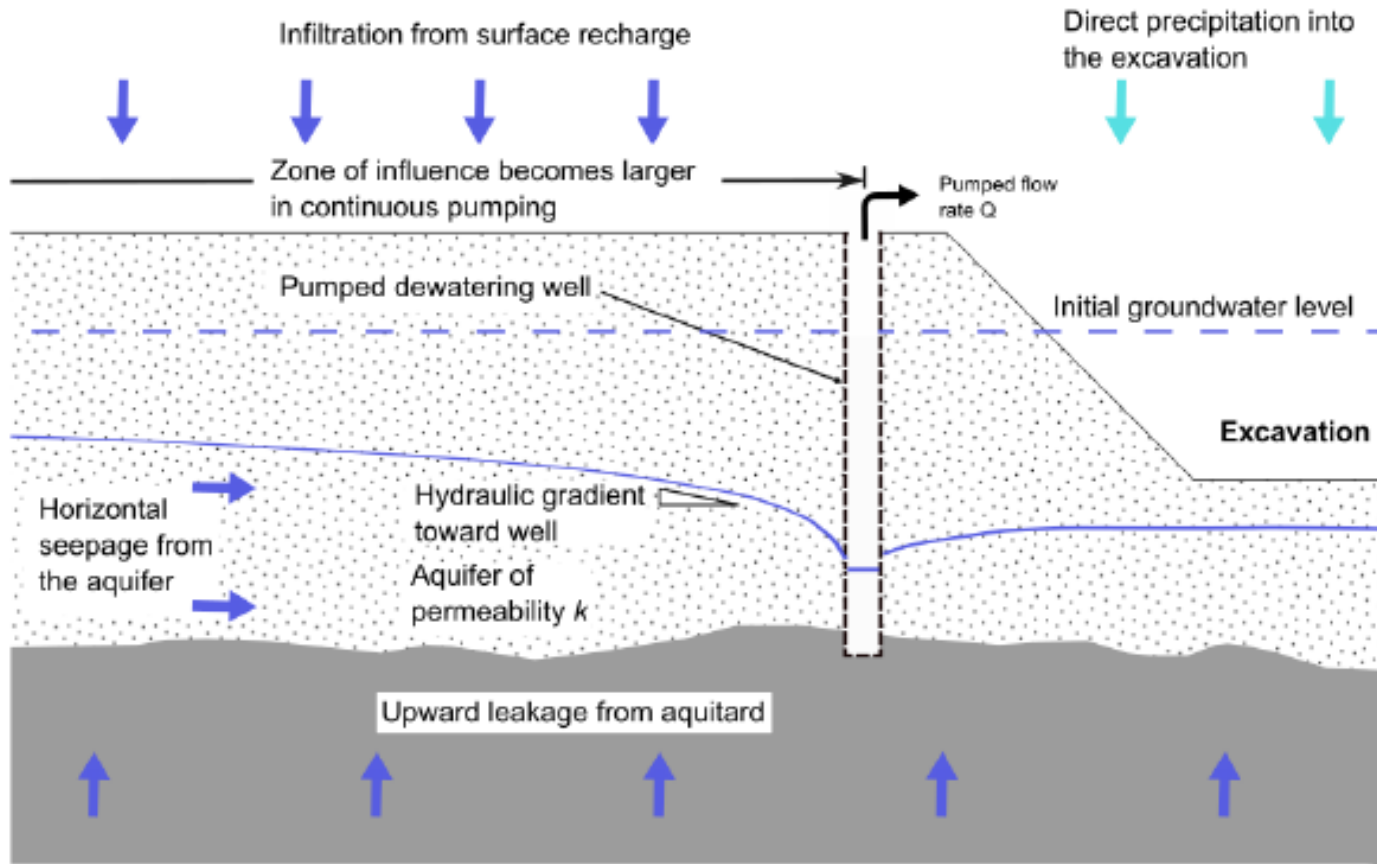
Material	$S_p (-)$
Clay	0.01 – 0.05
Silt	0.03 – 0.19
Sand	0.1 – 0.35
Gravel	0.14 – 0.35

Source: Modified from Fitts (2013).

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



5) Parameters



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

5) Parameters



	Kx	Ky	Kz		Color
1	5	5	5	0	
2	0.03	0.03	0.03	0	
3	15	15	15	0	

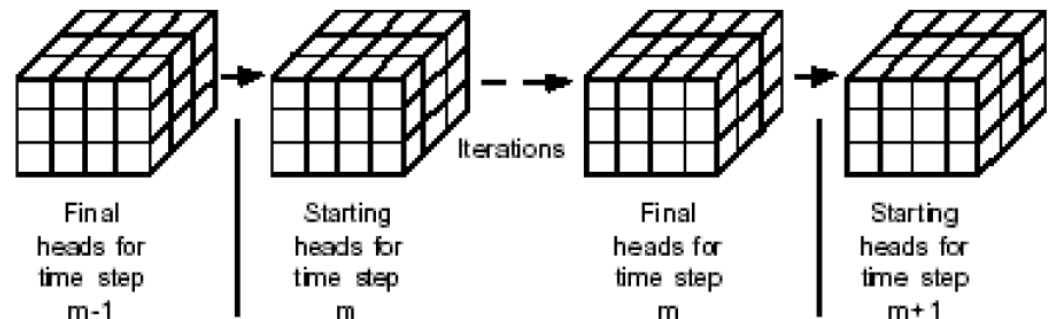
	Ss	Sy	Porosity	Porosity2	Color
1	0.0001	0.3	0.3	0	
2	0.001	0.05	0.05	0	
3	0.0001	0.3	0.3	0	

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

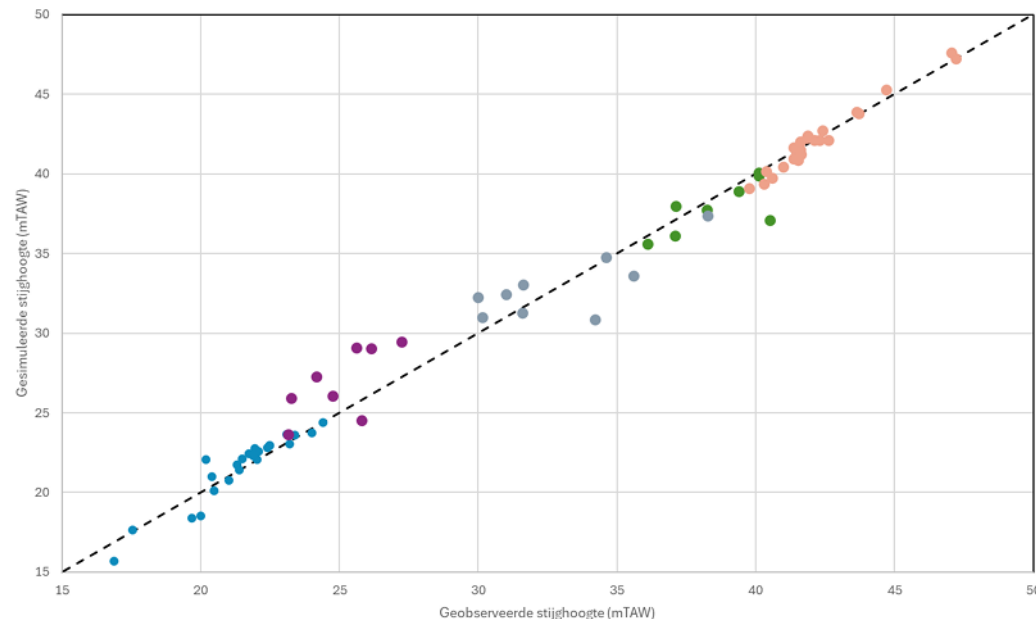


- ➔ Meestal arbitrair peil (maaiveld) en dan stationaire modellering om te komen tot grondwaterpeil in rust
- ➔ stationair berekende peilen kunnen dan dienen als initiële grondwaterpeilen om bijvoorbeeld een (tijdsafhankelijke) bemaling mee door te rekenen

Opgelet! initiële grondwaterpeilen moeten in evenwicht zijn met het startpunt van de bemaling (zelfde randvoorwaarden, zo niet kan peilverandering worden geïntroduceerd die niet afkomstig is van de bemaling maar eerder het gevolg is van de verandering in grondwatervoeding bv.)

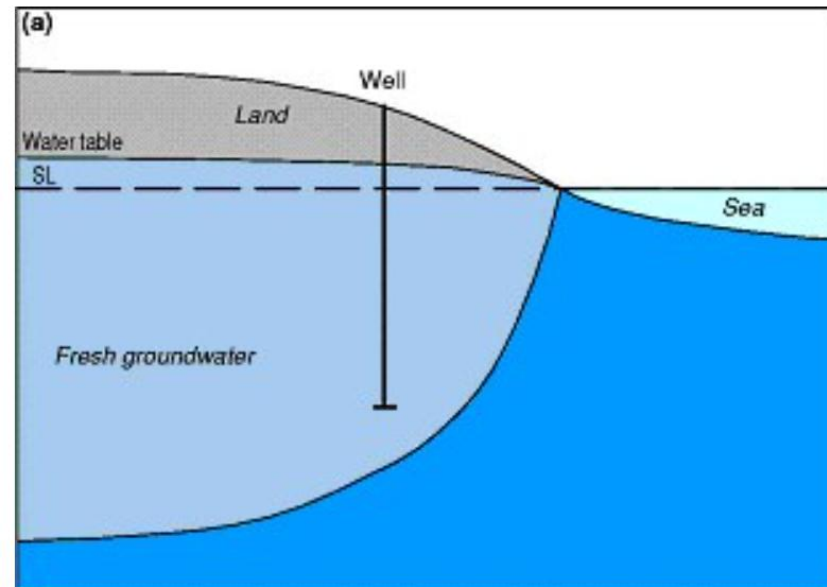


- ➔ aanpassing van parameters en randvoorwaarden (manueel of automatisch) tot goede fit met gemeten waarden op het terrein (GWP, pompproeven, ...)
- ➔ Modelparameters zijn meestal schaalafhankelijk, dus een horizontale doorlatendheid afgeleid op basis van een pompproef is niet altijd representatief voor de globale doorlatendheid van dezelfde aquifer op regionale schaal en omgekeerd.
- ➔ Kalibratie nagaan met andere dataset metingen = validatie

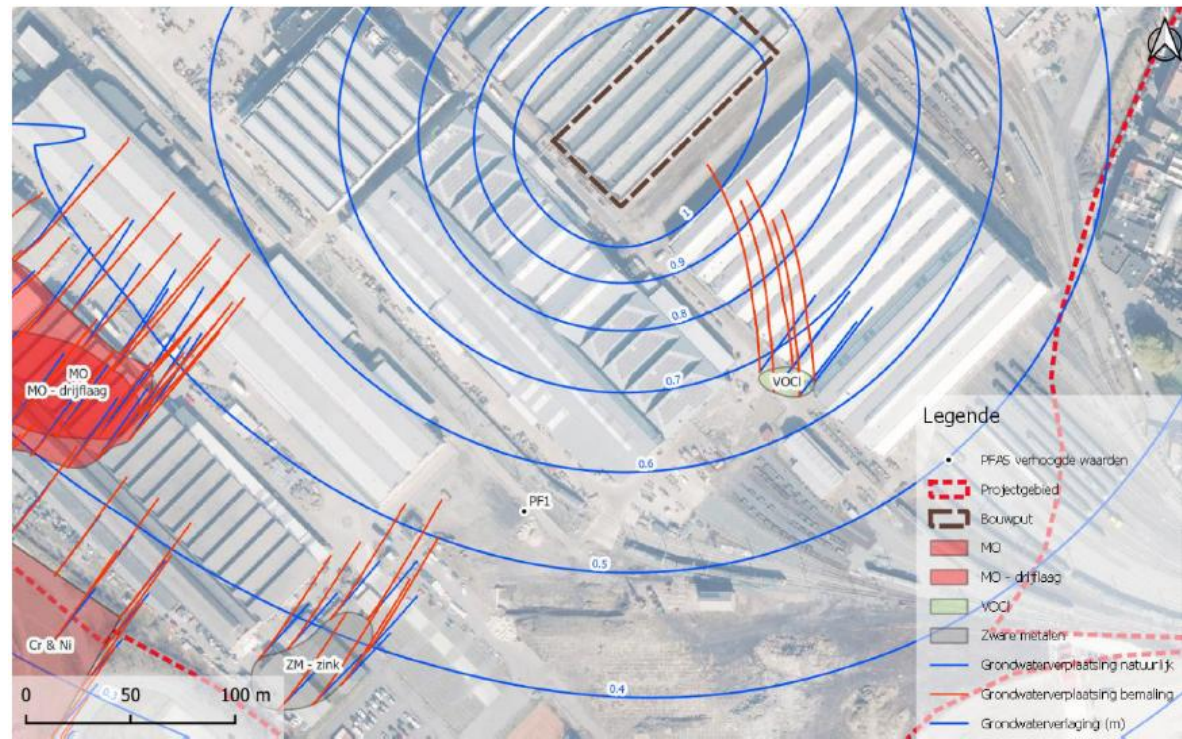


8) Zoet-zout water interface

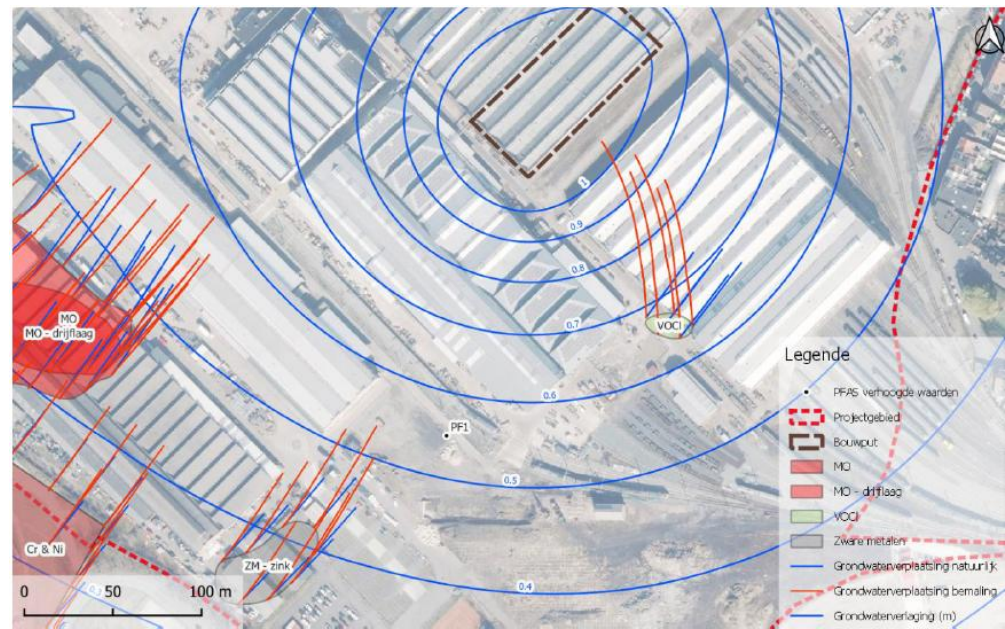
- ➔ Zout conservatieve tracer: geen retardatie of afbraak
- ➔ Dichtheid en viscositeit variabel van zout water afhankelijk van de concentratie en temperatuur
- Grote variaties in dichtheid veroorzaken stijghoogteverschillen die aanleiding geven tot andere grondwaterstroming
- Viscositeit heeft een invloed op de doorlatendheid van de aquifer, warm water heeft lagere viscositeit dan koud water en daardoor hogere permeabiliteit



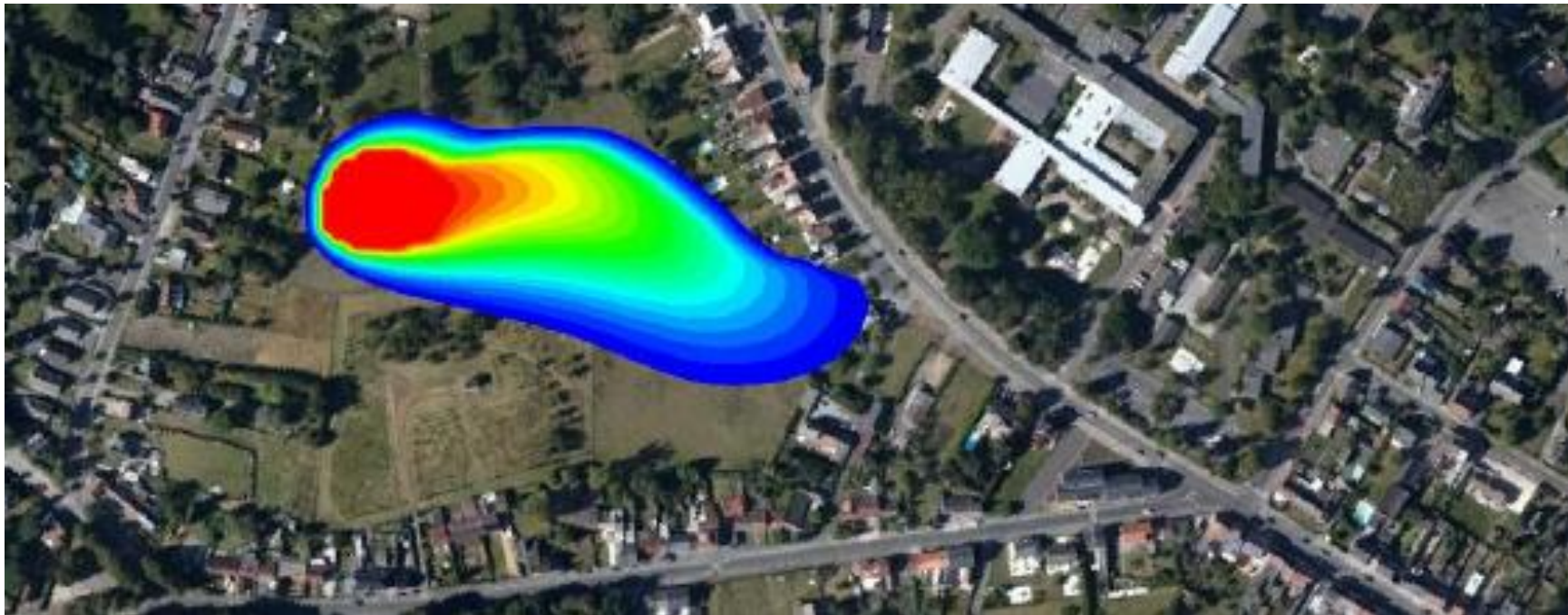
- ➔ Verontreiniging verplaatst zich niet altijd op dezelfde manier als zuiver grondwater:
- Vertraging (retardatie): adsorptie aan bodemdeeltjes
 - Dispersie: preferentiële stromingspaden
 - Diffusie: traag proces van hogere naar lagere concentratie
 - Afbraak: chemische/biologische afbraak



- ➔ Stroombaanberekening ('particle tracking') kan toegepast worden met bijvoorbeeld MODFLOW 6-PRT of MODPATH (voor oudere MODFLOW-versies): ruwe indicatie van het traject van virtuele waterdeeltjes (zonder retardatie, dispersie, diffusie, afbraak ...) en de tijd die verloopt over dit traject
- ➔ vergelijking maken tussen een situatie waarbij een virtueel waterdeeltje louter migreert onder invloed van de natuurlijke grondwaterstroming en een situatie waarbij deze natuurlijke grondwaterstroming beïnvloed wordt door een bemaling



- dispersie: lokale afwijkingen van de gemiddelde stroomsnelheid;
- diffusie (in de praktijk meestal te verwaarlozen in verhouding tot het effect van bemalen/retourneren);
- adsorptie: verdeling tussen bodem en grondwater;
- afbraak (bv. nucleair verval);
- overige fysische, chemische en/of biochemische reacties



- ➔ Veel betrouwbare data beschikbaar als input voor modellering = vrij accurate kalibratie, voorspellende kracht kan vrij groot en betrouwbaar zijn
- ➔ Hoe minder gehanteerde parameters en randvoorwaarden betrouwbaar zijn, des te belangrijker wordt het om de gevoeligheid naar het resultaat ervan te onderzoeken. Dit gebeurt best door de waarden ervan te laten variëren binnen aanvaarde minimum- en maximumgrenzen = gevoeligheidsanalyse



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

- de hydrogeologische opbouw als dusdanig: laagdiktes en de continuïteit ervan;
- horizontale en verticale doorlatendheid en hun verhouding ten opzichte van elkaar;
- grondwatervoeding uit effectieve neerslag-evapotranspiratie,
- conductanties en peilen van waterlopen;
- vrije en elastische berging voor wat betreft het tijdsafhankelijk debiet.
- horizontale indeling in modelcellen, vooral de verfijning;
- conductanties van bronnen, filters, drains ...;
- doorlatendheid van waterremmende wanden of andere, al dan niet tijdelijke, waterremmende
- schermen (bv. waterglasinjectie);
- dieptes van wanden t.o.v. filterstelling van bronnen en filters;
- afstand tussen bronnen/wanden/retourbronnen.

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026

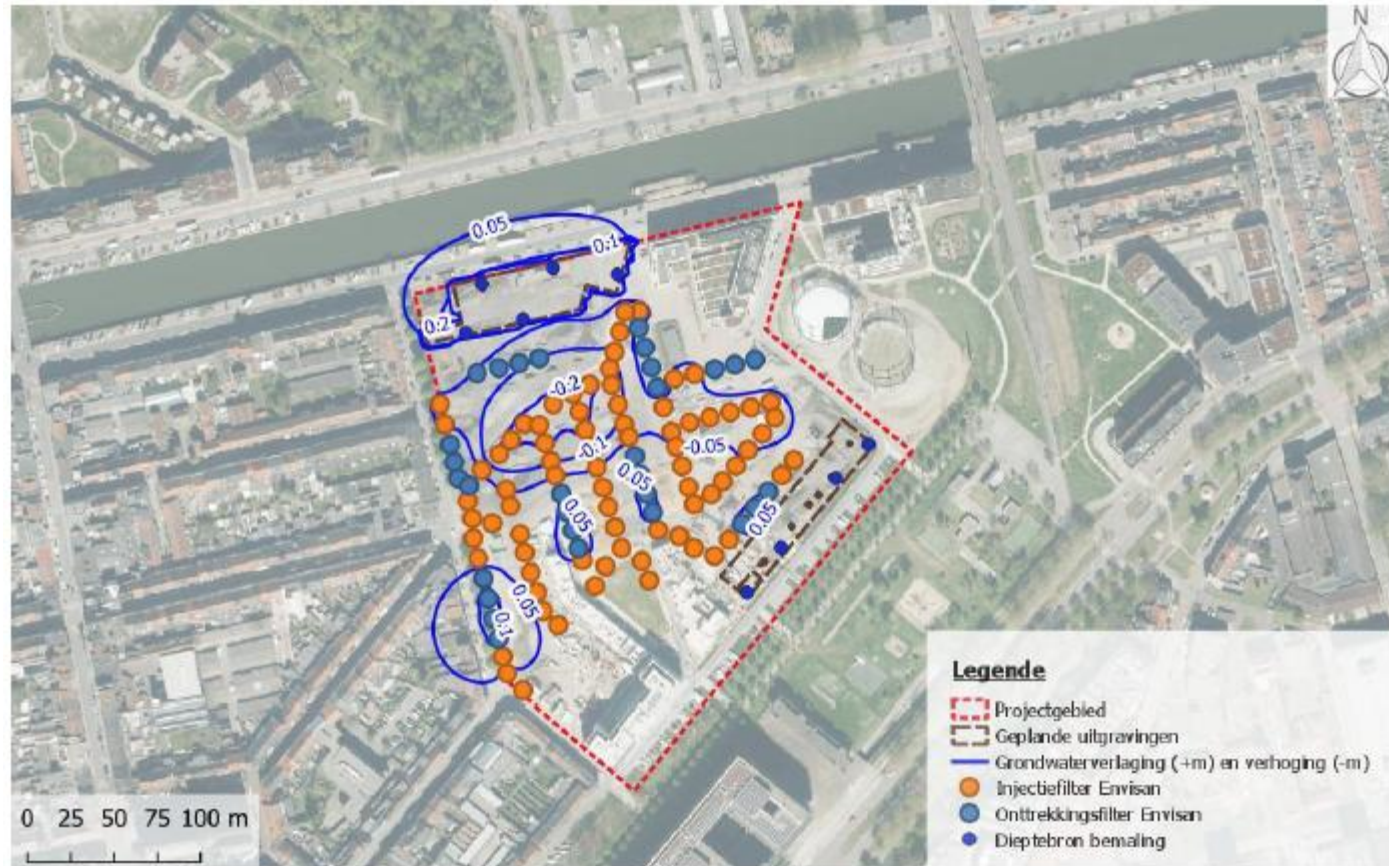


- [Numerieke modeltool gebaseerd op MODFLOW 6 grondwatermodel](#)
- Effecten (debiet en grondwaterverlaging) van ingrepen in freatische aquifer, ook cumulatief met vergunde winningen
- Gebruiksvriendelijke userinterface zoals Verkenner DOV
- Ontwerper blijft verantwoordelijk voor opstellen technisch goedwerkend bemalingsconcept
- Model houdt rekening met hydrogeologische hoofdeenheden, opletten bij lokaal sterk afwijkende quartaire geologie

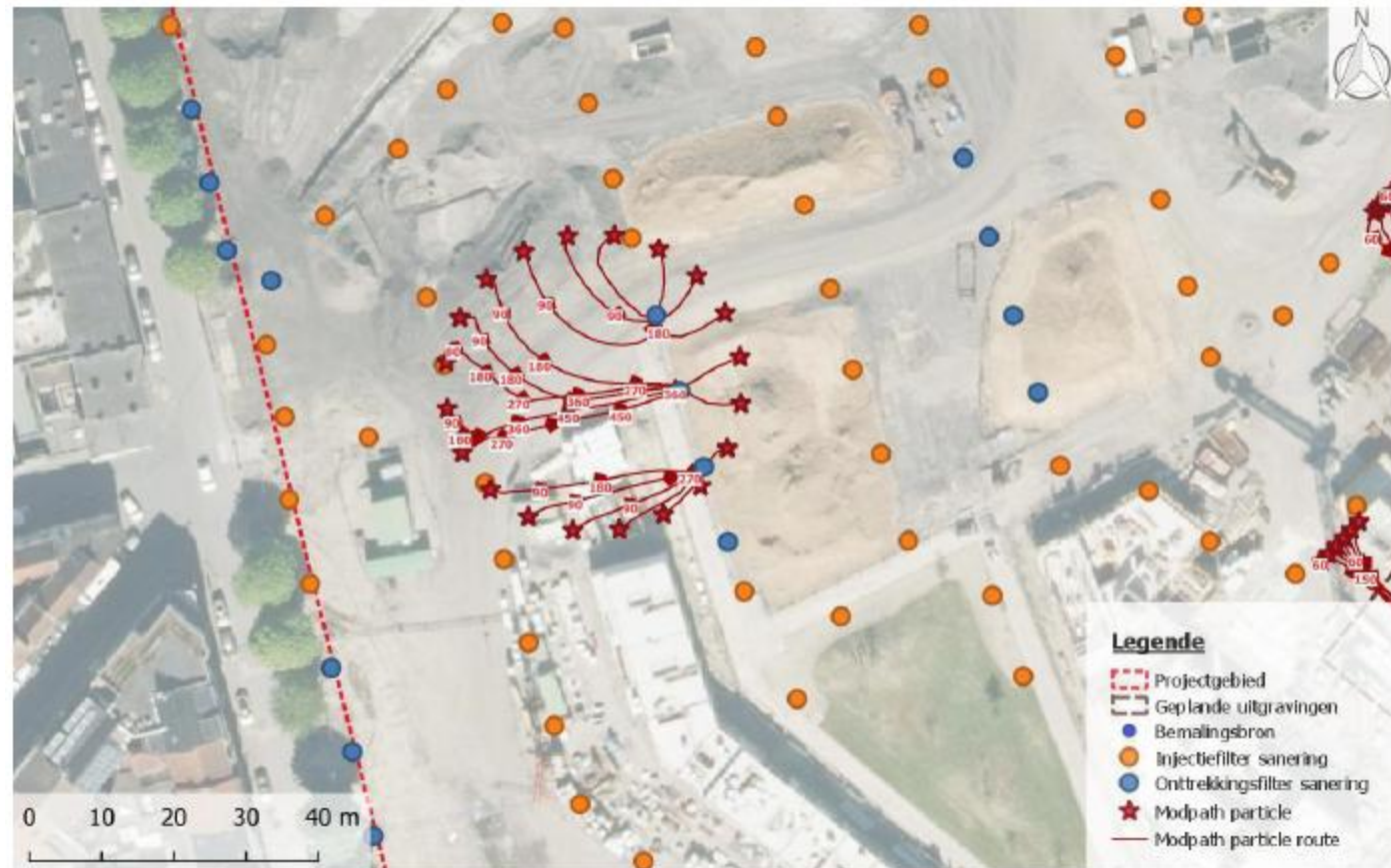
Grondwatersimulator

- Bemalingen in de freatische watervoerende laag (dus geen spanningsbemaling)
- Niet geschikt om de werking van een bemalingsconcept af te toetsen
- Niet geschikt voor complexe ondergrond, bv. afwisseling van quartaire lagen met wisselende doorlatendheden
- Minder geschikt voor retourbemaling of infiltratie

- Modellering sanering (pomp- en injectie)



- Modellering sanering (pomp- en injectie)



- Impact bemaling op verontreiniging



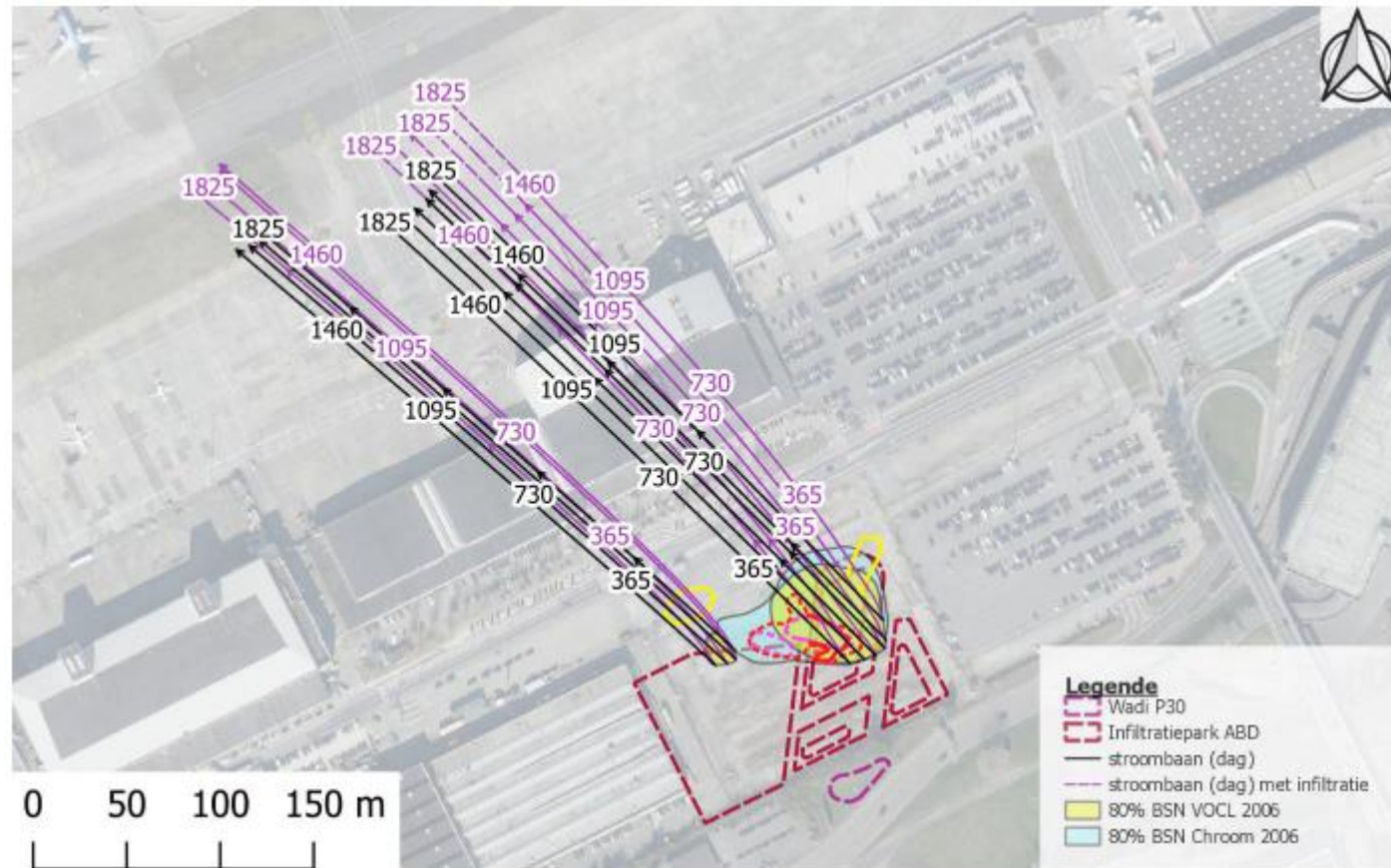
- Impact bemaling op verontreiniging
→ simulatie tegenbemaling



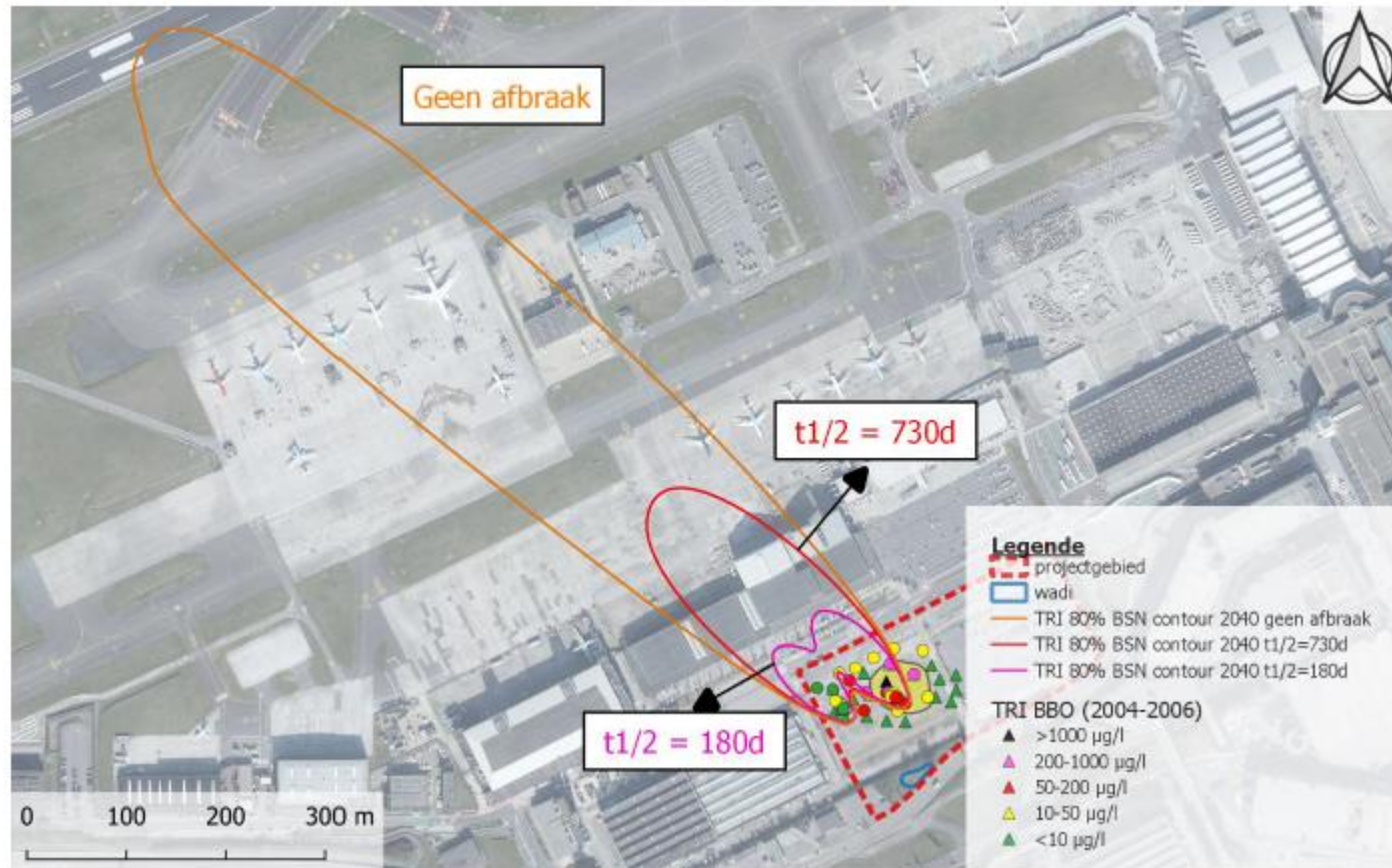
- Impact bemaling op verontreiniging
→ simulatie tegenbemaling

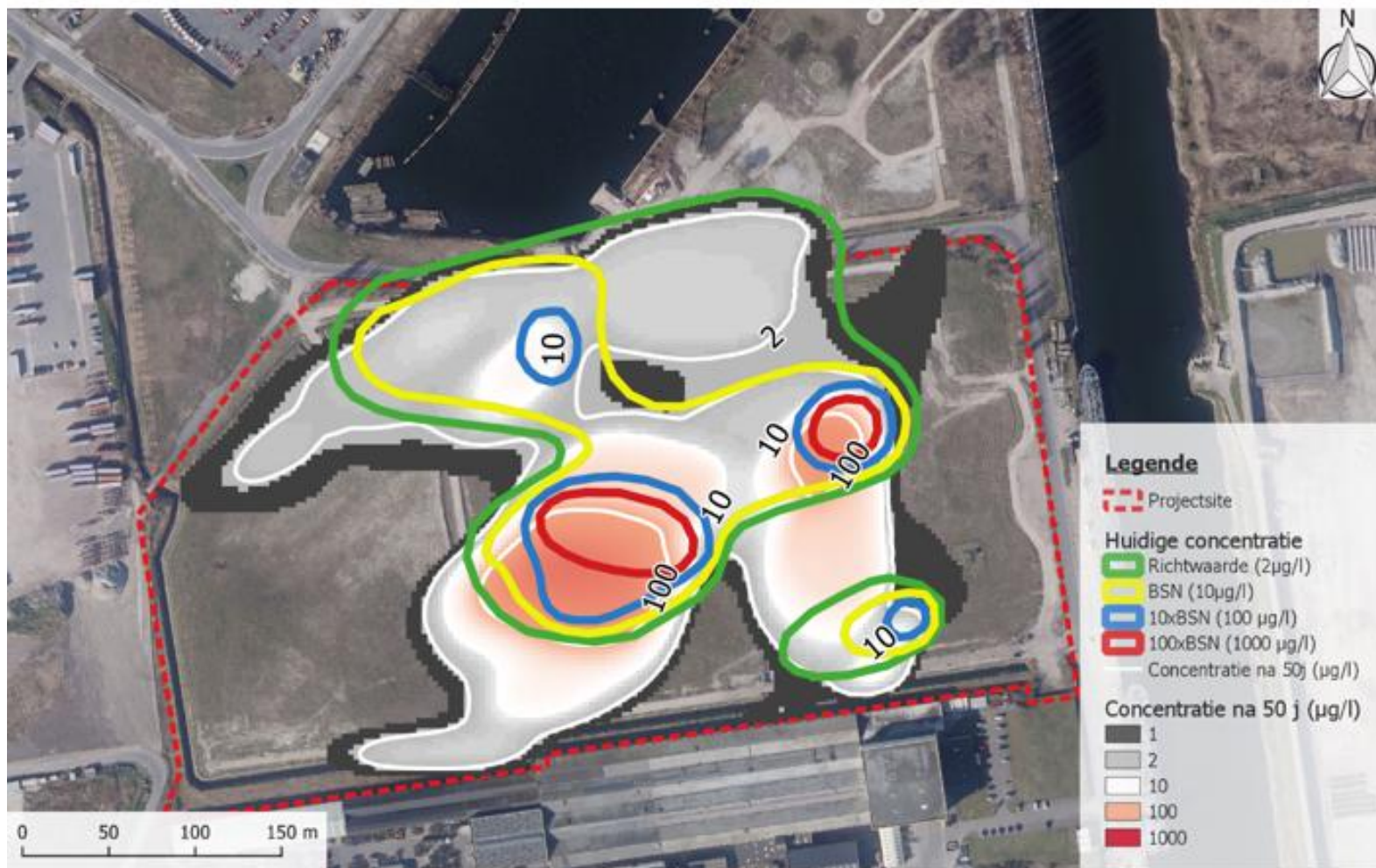


- Enkel advectie



- + Sorptie, afbraak





Figuur 19: Vergelijking tussen de concentratie ($\mu\text{g/l}$) van benzeen in het grondwater na 50 jaar en de huidige verontreinigingssituatie tussen 9 en 12 m-mv.

Een model geeft geen waarheid, maar ondersteunt **betere beslissingen onder onzekerheid.**

Modellen (analytische EN numerieke) zijn **gereedschappen** (“tools”) om een conceptueel grondwaterprobleem op te lossen, zonder kritische analyse van invoer en uitkomsten zijn ze waardeloos.

Er bestaat geen uniek numeriek model van een regio dat geschikt is om alle vraagstukken op te lossen, voornamelijk omwille van de **schaalafhankelijkheid van grondwatervraagstukken.**

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER
OVAM



Bedankt voor uw aandacht!

Contacteer ons gerust:

laura.scheere@agt.be

jos.vansteenwinkel@agt.be

Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026



Opleiding georganiseerd door VOBAS:

Inleiding tot grondwatermodelleren voor bodemonderzoek

Software: MODFLOW 6 met ModelMuse als gebruikersinterface (USGS, gratis)

8/10/2026 van 9 tot 17u Gentbrugge (Emelia)

Voormiddag: THEORIE

Grondwatersystemen en grondwaterstroming

Numeriek modelleren van grondwaterstroming met MODFLOW 6-GWF

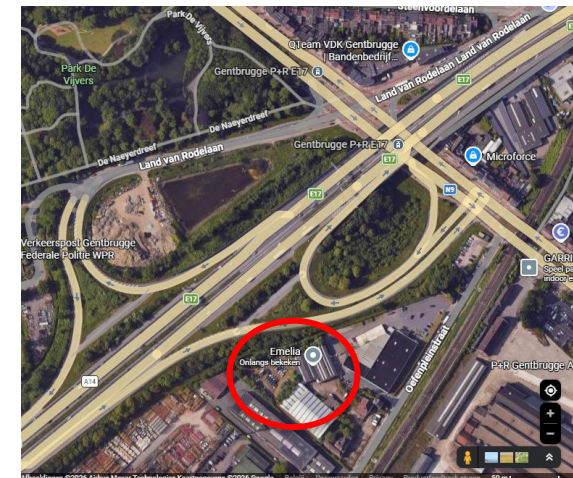
Stroombaanberekeningen met MODFLOW 6-PRT

Namiddag: PRAKTIJK

Opstellen van een eenvoudig grondwatermodel

Simulatie van een ondiepe bemaling voor een uitgraving

Voorstelling van de resultaten



Dag van de bodemdeskundige 7 mei 2026