

# Aanvullend onderzoek klei-in-zand

Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van handmatig gemengde klei-in-zand monsters

Marius Heinen, Frank Gerritsen, Gerben Bakker  
Wageningen Environmental Research



FOTO: FRANK GERRITSEN



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Methode .....</b>	<b>4</b>
2.1	<i>Bemonstering.....</i>	4
2.2	<i>Handmatig gemaakte monsters.....</i>	4
2.3	<i>Metingen.....</i>	4
<b>3</b>	<b>Resultaat .....</b>	<b>5</b>
3.1	<i>Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken.....</i>	5
3.2	<i>Doorlatendheid bij verzadiging.....</i>	7
3.3	<i>Kengetallen.....</i>	7
3.4	<i>SWAP-WOFOST simulaties.....</i>	8
<b>4</b>	<b>Discussie en conclusie .....</b>	<b>9</b>
	<b>Literatuur .....</b>	<b>10</b>

### Colofon

Deze studie is uitgevoerd in het onderzoeksprogramma KLIMAP ([www.klimap.nl](http://www.klimap.nl)). Klimaatverandering zorgt op de Nederlandse zandgronden voor verandering in het bodem- en watersysteem en daarmee ook in de mogelijkheden voor landbouw en natuur in deze gebieden. 24 Partijen, waaronder regionale overheden, kennisinstellingen en bedrijven, hebben de handen ineen geslagen. Zij onderzoeken samen hoe het water- en bodemsysteem op deze zandgronden klimaatadaptief kan worden ingericht voor landbouw en natuur. In het project KLIMAP ('Klimaatadaptatie in de Praktijk'), dat mede gefinancierd wordt door de Topsectoren Agri & Food en Water & Maritiem, gaan zij aan de slag met handvatten die nodig zijn voor het klimaatbestendig inrichten van de Nederlandse zandgebieden.

De hoge zandgronden zijn gevoelig voor droogte tijdens het groeiseizoen. Naast beregenen of irrigeren kan ook gekeken worden of het toevoegen van klei aan de bovenlaag leidt tot een betere waterretentie en waterbeschikbaarheid. In een eerdere studie zijn waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken gemeten in klei-in-zandmonsters zoals bemonsterd in een veldproef, waarbij vaak de klei als grote brokken aanwezig was. Dit rapport beschrijft dezelfde analyse maar dan gebaseerd op uniform met de hand gemengde klei-in-zandmonsters.

# 1 Inleiding

In eerder KLIMAP-onderzoek is aangetoond dat voor grondmonsters waarin klei met zand was gemengd afwijkende waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken werden gemeten in vergelijking tot die voor zand waar geen klei aan was toegevoegd (Heinen et al., 2022). In dat onderzoek waren veldmonsters gestoken uit een perceel waar de klei in relatief grote brokken door het zand was gemengd. In die studie werd de aanbeveling gedaan om de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken ook een keer te bepalen in klei-in-zand mengsels waarin de klei uniformer is verdeeld.

Dit rapport beschrijft de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken zoals gemeten in met de hand gecreëerde klei-in-zand mengsels waarbij de klei vooraf was gebroken en gezeefd. De karakteristieken worden vergeleken met die gemeten in de veldmonsters zoals gerapporteerd in Heinen et al. (2022).

## 2 Methode

### 2.1 Bemonstering

Omdat de oorspronkelijke grondmonsters zoals gebruikt in Heinen et al. (2022) niet meer beschikbaar waren moest opnieuw zand, lichte klei en zware klei op dezelfde locaties (De Marke, Hengelo; Aerdt; Tricht) bemonsterd worden. Omdat handmatig gemengde monsters worden gemaakt, kon worden volstaan met verstoorte monsters.

### 2.2 Handmatig gemaakte monsters

In het laboratorium werd de klei gebroken en gezeefd. Voor het mengen is gebruik gemaakt van zand (gezeefde fractie  $\leq 2$  mm) en de zeeffractie 4-8 mm van de kleimonsters. Hierbij werden de volgende mengverhoudingen klei:zand gehanteerd: 1:4 en 2:3. Ringmonsters (duplo) voor de verdampingsmethode en voor de bepaling van de doorlatendheid bij verzadiging werden handmatig gevuld met deze mengsels. Hierbij werd gestreefd naar vergelijkbare droge bulkdichtheden zoals van de monsters gebruikt in Heinen et al. (2022). De 1:4 en 2:3 verhoudingen komen overeen met de behandelingen 5 cm klei en 10 cm klei gemengd in zand zoals gebruikt in Heinen et al. (2022). De handgemengde monsters lieten een meer uniforme menging van klei in zand zien in vergelijking tot de veldmonsters uit Heinen et al. (2022) (Figuur 1).

A)



B)



**Figuur 1.** Verschil in mate van menging van A) veldmonster (zoals gebruikt in Heinen et al., 2022) en B) handgemengd monster zoals gebruikt in aanvullend onderzoek.

### 2.3 Metingen

Voor beide kleisoorten en voor beide klei-in-zand verhoudingen werden in duplo de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken gemeten volgens de verdampingsmethode, en werd de doorlatendheid bij verzadiging gemeten. Deze uitkomsten zullen worden vergeleken met die voor vergelijkbare behandelingen uit Heinen et al. (2022).

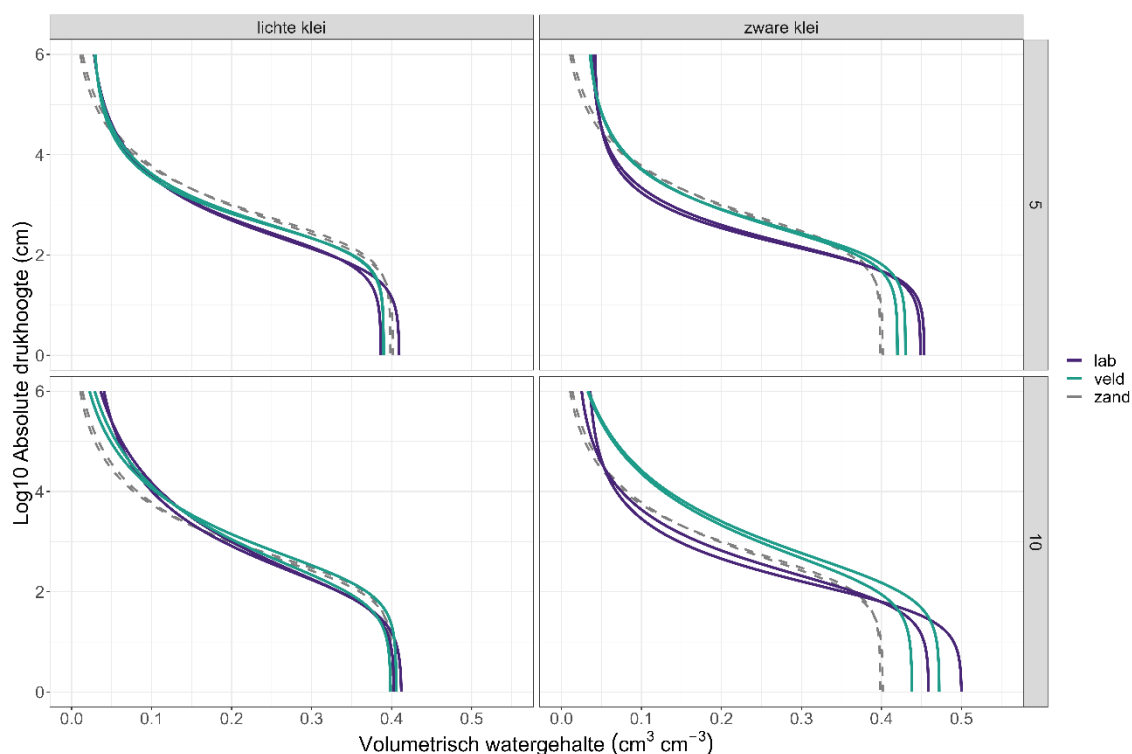
## 3 Resultaat

### 3.1 Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken

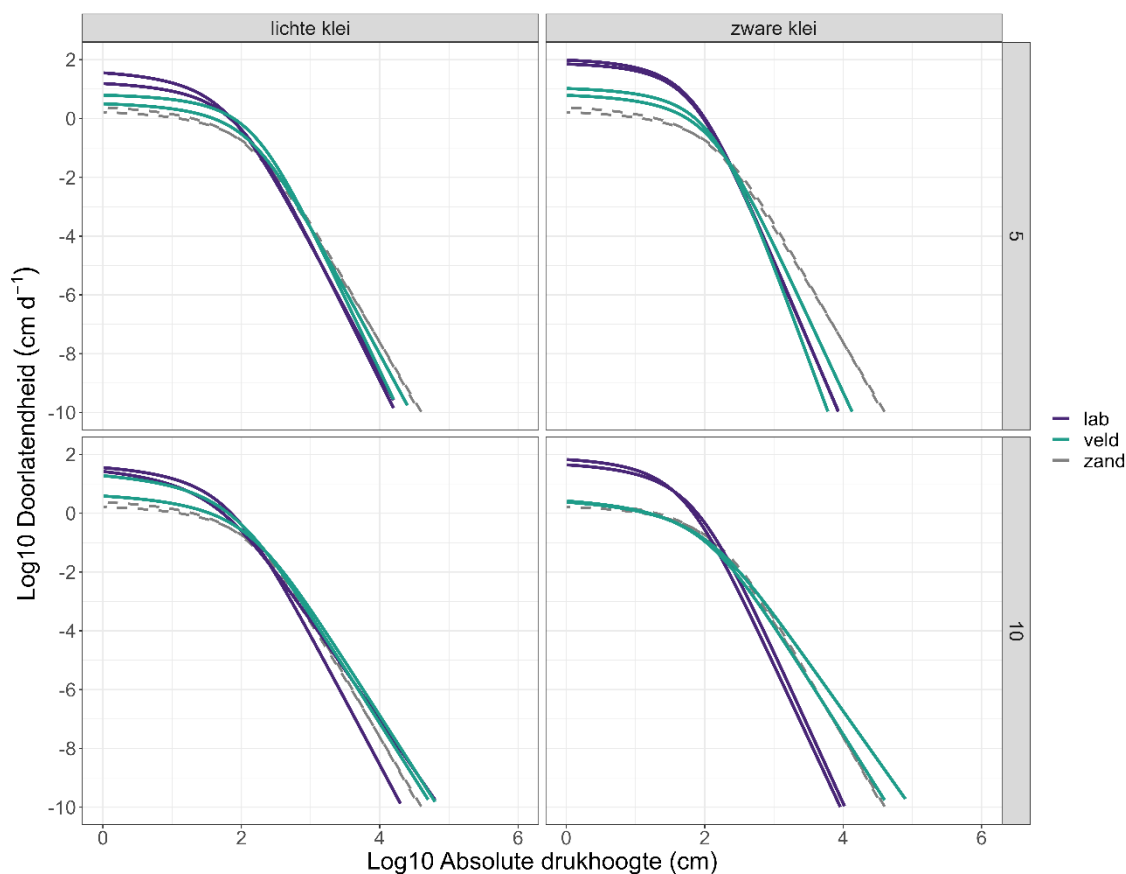
Visueel zien we geen grote verschillen voor de lichte-klai-in-zand monsters tussen de veldmonsters en de handgemengde laboratoriummonsters (Figuur 2).

Voor de situatie met zware klei zien we verschillen nabij verzadiging en een lagere ligging van de waterretentiekarakteristieken in het drogere deel van de curve. De iets hogere inschatting van het watergehalte bij verzadiging is toe te schrijven aan de iets geringere droge bulkdichtheid van de handgemengde monsters dan die van de veldmonsters. De lagere ligging van de curves in het drogere traject uit zich vooral in iets hogere waarden voor de  $\alpha$ -parameters (Tabel 1). Wat de feitelijke oorzaak van deze lagere ligging is kan niet met zekerheid worden gezegd: dat kan deels komen door de andere mate van menging, maar kan ook voor een deel beïnvloed zijn door de verschillen in droge bulkdichtheid.

De gefitte doorlatendheid bij verzadiging ( $K_{s,fit}$ ; Tabel 1, Figuur 2) is voor de handgemengde monsters groter dan die voor de veldmonsters. Naarmate het monster droger wordt neemt de doorlatendheid in de handgemengde monsters ver het algemeen sneller af dan die voor de veldmonsters (Figuur 2).



**Figuur 2.** Waterretentiekarakteristieken voor klei-in-zand mengsels: 5 of 10 cm lichte of zware klei gemengd in zand. De aanduiding 'veld' duidt op bodemmonsters zoals verkregen uit de veldproef op De Marke (uit Heinen et al., 2022), de aanduiding 'lab' duidt op de handgemengde laboratoriummonsters zoals gemaakt in deze studie, en de aanduiding 'zand' betreft de karakteristieken zoals gemeten in zand waarin geen klei was toegevoegd (uit Heinen et al., 2022).



**Figuur 3.** Doortatendheidskarakteristieken voor klei-in-zand mengsels: 5 of 10 cm lichte of zware klei gemengd in zand. De aanduiding 'veld' duidt op bodemonsters zoals verkregen uit de veldproef op De Marke (uit Heinen et al., 2022), de aanduiding 'lab' duidt op de handgemengde laboratoriummonsters zoals gemaakt in deze studie, en de aanduiding 'zand' betreft de karakteristieken zoals gemeten in zand waarin geen klei was toegevoegd (uit Heinen et al., 2022).

**Tabel 1.** De Mualem - van Genuchten parameters ( $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $\lambda$ ,  $K_{s,fit}$ ) en de droge bulkdichtheid van de verdampingsmonsters ( $\rho$ ) voor de behandelingen klei (lk = lichte klei (Aerd), zk = zware klei (Tricht) in zand (Z) bij twee verschillende klei-in-zand verhoudingen (5 cm of 1:4; 10 cm of 2:3). De eerste 8 rijen zijn de resultaten van veldmonsters zoals gerapporteerd in Heinen et al. (2022), de laatste 8 rijen zijn de resultaten uit het aanvullende onderzoek aan handgemaakte klei-in-zand mengsels..

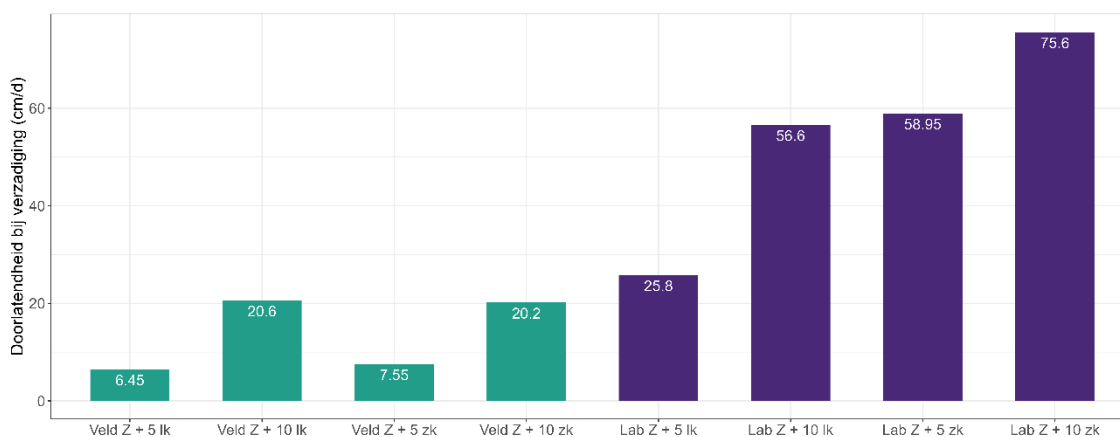
Behandeling	$\theta_r$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\theta_s$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$n$ (-)	$\lambda$ (-)	$K_{s,fit}$ ( $\text{cm d}^{-1}$ )	$\rho$ ( $\text{kg m}^{-3}$ )
Z+lk_5	0.026	0.390	0.00531	1.546	3.369	7.003	1504
Z+lk_5	0.024	0.390	0.00560	1.498	2.745	3.706	1514
Z+lk_10	0.0	0.406	0.00559	1.336	3.000	5.640	1564
Z+lk_10	0.0	0.399	0.00966	1.286	4.000	34.790	1501
Z+zk_5	0.032	0.430	0.00628	1.512	6.614	12.255	1413
Z+zk_5	0.030	0.420	0.00657	1.485	4.326	7.380	1454
Z+zk_10	0.0	0.438	0.00654	1.295	2.500	3.989	1473
Z+zk_10	0.0	0.472	0.00692	1.298	3.832	4.348	1320
Lab_Z+lk_5	0.022	0.387	0.00891	1.443	4.123	20.188	1514
Lab_Z+lk_5	0.020	0.410	0.01265	1.411	3.938	51.465	1465
Lab_Z+lk_10	0.024	0.403	0.01151	1.337	5.194	58.756	1475
Lab_Z+lk_10	0.0058	0.412	0.01532	1.269	3.232	57.797	1478
Lab_Z+zk_5	0.037	0.449	0.01217	1.571	4.193	114.956	1329
Lab_Z+zk_5	0.041	0.454	0.01244	1.631	3.469	81.098	1317
Lab_Z+zk_10	0.033	0.500	0.01644	1.502	4.077	88.177	1275
Lab_Z+zk_10	0.017	0.459	0.01137	1.429	5.357	60.826	1290

## 3.2 Doorlatendheid bij verzadiging

De doorlatendheid bij verzadiging in de handgemengde monsters is groter dan gemeten in de veldmonsters (Figuur 4). Omdat in deze monsters de droge bulkdichtheid niet wordt gemeten kan niet worden vastgesteld of dit verschil alleen wordt veroorzaakt door de uniformiteit van menging van klei in zand of dat deze ook deels wordt bepaald door verschillen in droge bulkdichtheid. Met name wanneer de handgemengde monsters een lagere dichtheid zouden hebben dan de veldmonsters dan kan dat volgens sommige theorieën leiden tot een exponentiële toename in de doorlatendheid bij verzadiging. Bij het maken van de handgemengde monsters voor de verdampingsopstelling waren de verkregen droge bulkdichtheden lager: 0 - 15%.

Aan de andere kant kan ook een rol gespeeld hebben dat in de veldmonsters soms grote aaneengesloten oppervlaktes klei aan de bovenzijde van het monster zichtbaar waren (zie bijvoorbeeld Figuur 1). Dat kan geleid hebben tot de lagere waarden zoals gemeten in de veldmonsters. Tevens is het mogelijk dat de werkelijke verhoudingen klei-in-zand in de veldmonsters niet gelijk waren aan die gerealiseerd in de handgemengde monsters.

Een eensluitende verklaring voor de waargenomen hogere waarden voor de doorlatendheid bij verzadiging in de handgemengde klei-in-zand monsters kan dus niet gegeven worden.



**Figuur 4.** Gemeten doorlatendheid bij verzadiging in de veldmonsters waarin klei (lk: lichte klei; zk: zware klei) was gemengd met zand (Z) (eerste vier kolommen; bron: Heinen et al., 2022) en in handgemengde klei-in-zand monsters uit deze studie (rechter vier kolommen).

## 3.3 Kengetallen

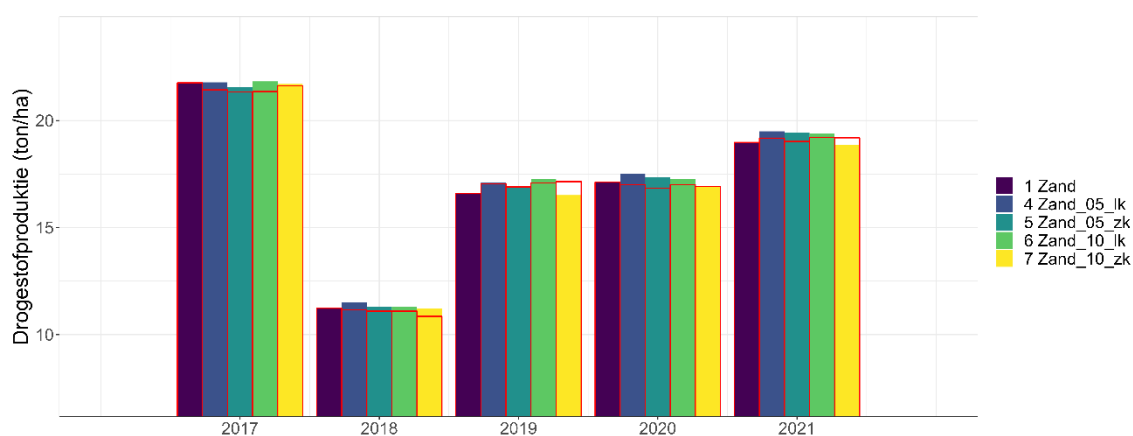
Heinen et al. (2022) gaven ook de waterbeschikbaarheid en de kritieke flux voor de klei-in-zand objecten. Deze zijn ook voor de uniform gemengde situatie berekend (Tabel 2). Hieruit volgt dat voor de handgemengde monsters de waterbeschikbaarheid ( $W_{av}$ ) iets lager uitvalt. De kritieke flux ( $q_{crit}$ ) voor de handgemengde monsters valt voor de lichte klei monsters lager uit, en vergelijkbaar of iets hoger voor de zware klei monsters. Uiteraard geldt ook hier dat niet met zekerheid geconcludeerd kan worden of dit het resultaat is van de meer uniforme menging of dat de verschillen in feitelijke mengverhouding en verschillen in de droge bulkdichtheid ook een rol spelen.

**Tabel 2.** De waterbeschikbaarheid ( $W_{av}$ ) en kritieke flux ( $q_{crit}$ ) voor de veldmonsters (bron: Heinen et al., 2022) en de handgemengde monsters uit deze studie.

Behandeling	$W_{av}$ (cm)	$q_{crit}$ (cm d <sup>-1</sup> )
Z+l <sub>k</sub> _5	8.53	0.835
Z+l <sub>k</sub> _5	8.38	0.553
Z+l <sub>k</sub> _10	8.19	0.609
Z+l <sub>k</sub> _10	7.44	0.626
Z+z <sub>k</sub> _5	8.95	0.483
Z+z <sub>k</sub> _5	8.66	0.467
Z+z <sub>k</sub> _10	8.31	0.345
Z+z <sub>k</sub> _10	8.88	0.255
Lab_Z+l <sub>k</sub> _5	7.76	0.490
Lab_Z+l <sub>k</sub> _5	7.67	0.432
Lab_Z+l <sub>k</sub> _10	7.34	0.468
Lab_Z+l <sub>k</sub> _10	7.11	0.408
Lab_Z+z <sub>k</sub> _5	8.24	0.599
Lab_Z+z <sub>k</sub> _5	8.17	0.539
Lab_Z+z <sub>k</sub> _10	8.49	0.241
Lab_Z+z <sub>k</sub> _10	8.74	0.422

### 3.4 SWAP-WOFOST simulaties

Met behulp van SWAP-WOFOST simulaties hebben Heinen et al. (2022) de invloed van de veranderingen in waterretentie en doorlatendheid op de drogestofproductie bekeken. Over het algemeen leidde de toevoeging van klei in zand tot een iets grotere simulatie voor de drogestofproductie in vergelijking tot die gesimuleerd voor een referentie zandprofiel. Deze bevindingen kwamen kwalitatief overeen met gemeten drogestofproducties zoals gerapporteerd door Gollenbeek en Hilhorst (2022). Hier zijn de simulaties opnieuw uitgevoerd met de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken voor de handgemengde monsters. De vijf gekleurde balken in Figuur 5 zijn de resultaten van Heinen et al. (2022), en de rood omlijnde balken geven de resultaten van de huidige simulaties. Over het geheel genomen zijn de nieuw gesimuleerde drogestofproducties gelijk aan of iets geringer dan die gesimuleerd met de veldmonsters.



**Figuur 5.** Met SWAP-WOFOST gesimuleerde drogestofproductie voor de jaren 2017-2021 voor 5 of 10 cm lichte klei (lk) of zware klei (zk) gemengd in zand op basis van de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken gemeten in veldmonsters (gekleurde balken; uit Heinen et al., 2022) en op basis van de handgemengde laboratoriummonsters (rode open balken; uit deze studie).



## 4 Discussie en conclusie

In deze studie is een vergelijking gemaakt in de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken voor de volgende twee situaties:

- Klei-in-zand monsters zoals verkregen uit de veldproef van Gollenbeek en Hilhorst (2022), welke zijn gerapporteerd in Heinen et al. (2022) (veldmonsters).
- Handmatig gemengde klei-in-zand monsters waarbij gestreefd werd naar een goede uniforme menging van de klei in het zand (handmatige gemengde laboratoriummonsters) (conform aanbeveling uit Heinen et al., 2022).

Voor de lichte klei zijn hele geringe (visuele) verschillen in de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken gevonden voor beide mengverhoudingen. Wel was de gemeten doorlatendheid bij verzadiging voor de laboratoriummonsters groter dan die gemeten in de veldmonsters. Waterbeschikbaarheid was iets geringer en de kritieke flux was duidelijk lager. Volgens SWAP-WOFOST simulaties werden voor de lichte-klei-in-zand simulaties gelijke of minimaal geringere drogestofproducties gesimuleerd voor de situatie met de laboratoriummonsters ten opzichte van de veldmonsters.

Voor de zware klei zijn waren visueel grotere verschillen in de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken gevonden voor beide mengverhoudingen. De gemeten doorlatendheid bij verzadiging voor de laboratoriummonsters was duidelijk groter dan die gemeten in de veldmonsters. Waterbeschikbaarheid en kritieke flux waren vergelijkbaar. Volgens SWAP-WOFOST simulaties werden voor de zware-klei-in-zand simulaties gelijke drogestofproducties gesimuleerd voor de situatie met de laboratoriummonsters ten opzichte van de veldmonsters; voor de grote mengverhouding resulteerde de simulaties voor de situatie met laboratoriummonsters in sommige jaren zelfs in een iets hogere drogestofproductie.

De waargenomen verschillen in eigenschappen en de simulatieresultaten zijn soms heel gering en soms wat groter. Echter de impact op SWAP-WOFOST simulatieresultaten (drogestofproductie) is over het algemeen gering. Uit deze studie is niet te concluderen dat een hele uniforme menging van zand in klei leidt tot significant andere waterretentie- en doorlatendheidseigenschappen, en dientengevolge tot andere SWAP-WOFOST simulaties van drogestofproductie.

## Literatuur

Gollenbeek L.R., G.J. Hilhorst. 2022. Effecten van verrijking zandbodem met klei op mais- en grasteelt op melkvee­proef­bedrijf 'De Marke'. Rapport 3171, Wageningen Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/569406>

Heinen, M., G. Bakker, F. Gerritsen, W. de Groot. 2022. Waterretentie- en doorlatendheids­karakteristieken in met klei verrijkte zandgrond. WENR rapport 3145, Wageningen Environmental Research. <https://edepot.wur.nl/561450>