



# Pilot thermisch reinigen van grond met Aziatische duizendknoop

Effectiviteit behandeling van een gronddepot met hete lucht (*proof of principle*)

C.J. van Dijk, W.D. Neutel, W. de Visser en T.J. Vendrig



---

# Pilot thermisch reinigen van grond met Aziatische duizendknoop

Effectiviteit behandeling van een gronddepot met hete lucht (*proof of principle*)

C.J. van Dijk<sup>1</sup>, W.D. Neutel<sup>2</sup>, W. de Visser<sup>1</sup> en T.J. Vendrig<sup>2</sup>

1 Wageningen Research

2 Hannover Milieu- en Veiligheidstechniek B.V.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, februari 2021

---

Rapport WPR-1064

---

C.J. van Dijk, W.D. Neutel, W. de Visser en T.J. Vendrig, 2021. *Pilot thermisch reinigen van grond met Aziatische duizendknoop; Effectiviteit behandeling van een gronddepot met hete lucht (proof of principle)*. Wageningen Research, Rapport WPR-1064. 50 blz.; 16 fig.; 5 tab.; 8 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/550843>

Trefwoorden: Aziatische duizendknoop, Fallopië, wortelstokken, grond, thermisch reinigen, ex situ

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

KvK: 09098104 te Arnhem  
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-1064

Foto omslag: hete lucht behandeling van met duizendknoop besmette grond

---

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
	1.1 Aanleiding	9
	1.2 Probleemstelling	10
	1.3 Projectdoelstelling	10
<b>2</b>	<b>Aziatische duizendknoop</b>	<b>11</b>
	2.1 Planteigenschappen en herkomst	11
	2.2 Verspreiding	12
	2.3 Schade en risico's	13
<b>3</b>	<b>Opzet en uitvoering</b>	<b>14</b>
	3.1 Thermische bestrijding duizendknoop	14
	3.2 Groeiplaats Aziatische duizendknoop	14
	3.3 Thermische behandeling	16
	3.3.1 Opzet thermische installatie	16
	3.3.2 Volgen temperatuurtoename in het depot	16
	3.3.3 Configuratie temperatuursensoren	17
	3.4 Effectiviteitsbepalingen	17
	3.4.1 Vitaliteitsmetingen	17
	3.4.2 Metingen voor en na behandeling	18
	3.4.3 Monitoring lange termijn	18
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>19</b>
	4.1 Opbouw gronddepot	19
	4.2 Thermische behandelingen	19
	4.3 Effectiviteit	22
	4.3.1 Nul-meting	22
	4.3.2 Effectiviteit thermische behandelingen	23
	4.3.3 Monitoring lange termijn	24
	4.4 Bodemkwaliteit	26
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>27</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>29</b>
	<b>Bijlage 1 Tekeningen situering filters en sensoren</b>	<b>30</b>
	<b>Bijlage 2 Grafieken temperatuurverloop</b>	<b>35</b>
	<b>Bijlage 3 Dwarsdoorsnede met temperaturen</b>	<b>44</b>
	<b>Bijlage 4 Soortenlijst</b>	<b>48</b>

---

---

# Samenvatting

Invasieve exotische plantensoorten zijn soorten die van nature niet in Nederland voorkomen en door menselijk handelen hier terecht zijn gekomen en schade aanrichten of kunnen aanrichten aan natuur, economie, veiligheid of gezondheid van mens en dier. Aziatische duizendknoop is zo'n invasieve exoot. Deze soort is inheems in Japan, China, Taiwan en Korea. Aziatische duizendknoop is een vaste plant die 3-4 meter hoog kan worden. De stengels groeien uit de lange, vertakte en sterk woekerende ondergrondse wortelstokken. De aanwezigheid van duizendknoop leidt tot het verdwijnen van inheemse flora, veroorzaakt schade aan kapitaalgoederen, vormt een risico voor de veiligheid en leidt tot tientallen miljoenen euro per jaar aan extra kosten. Transport en (her)gebruik van met duizendknoop besmette grond geeft een groot risico op verdere verspreiding van de duizendknoop.

De firma Hannover Milieu- en Veiligheidstechniek B.V. (Hmvt) en Wageningen Research hebben gezamenlijk een methodiek ontwikkeld voor het reinigen van met Aziatische duizendknoopresten besmette grond (*in situ* en *ex situ*) door middel van verhitting met hete lucht. In samenwerking met het Havenbedrijf Rotterdam en de firma Iv-Infra b.v. is het concept getest op een locatie in het havengebied.

In deze pilot is onderzocht of met duizendknoop besmette grond lokaal *ex situ* thermisch voldoende gereinigd kan worden voor veilig hergebruik. Voor de pilot is circa 200 m<sup>3</sup> grond klasse Industrie met wortelstokfragmenten van Aziatische duizendknoop gebruikt. De grond is in depot gezet, daarbij zijn geen specifieke bewerkingen uitgevoerd om de wortelstokfragmenten homogeen over het depot te verdelen. Op basis van literatuur gegevens en *expert judgement* is voor een aanpak gekozen waarbij het grondvolume geleidelijk wordt opgewarmd tot minimaal 55 °C gedurende drie dagen of minimaal 40 °C gedurende 7 dagen en het daarna weer te laten afkoelen. Dergelijke temperatuurregimes zouden afdoende moeten zijn om de duizendknoop te doden.

## Conclusies

De pilot heeft aangetoond dat het technisch mogelijk is om grotere grondvolumes in een depot door middel van hete lucht op te warmen tot temperaturen van minimaal 40 °C. Gemiddeld duurde het 18 tot 21 dagen om een vak op te warmen en gedurende minimaal zeven dagen op temperatuur te houden. Voor de in deze pilot toegepaste methode is patent aangevraagd.

In de grondmonsters die na elke thermische behandeling zijn verzameld zijn geen vitale wortelstokfragmenten aangetroffen. Ook gedurende de schouwperiode na afloop van de behandelingen is geen hergroei van duizendknoop waargenomen. Op grond van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de effectiviteit van de toegepaste thermische behandeling 100% bedroeg.

## Overige conclusies m.b.t. de technische uitvoering van de pilot

- Tijdens de uitvoering van de pilot is gebleken dat er diverse aanpassingen in de technische opzet nodig waren om de gewenste minimale temperaturen te kunnen bereiken, zoals kortere afstanden tussen de filters (meer heaters geplaatst), meer temperatuursensoren (voor een beter beeld van het temperatuurprofiel), geheel omsloten depot (geen talud) en bij voorkeur geen dichte ondergrond i.v.m. de afvoer van regenwater;
- Onder de extreme weersomstandigheden aan het begin van de pilot (januari-februari 2020) met storm en veel neerslag bleek het niet mogelijk het opwarmingsproces gaande te houden. De installatie moest toen noodgedwongen worden stil gelegd in afwachting van betere omstandigheden;
- Met de beschikbare stroomaansluiting was het niet mogelijk het depot in keer te verwarmen. Er is een denkbeeldige vakkenverdeling (5) gemaakt die achtereenvolgens zijn behandeld. Dit betekende dat de filterbuizen, heaters, leidingen en temperatuursensoren meerdere malen verzet moesten worden;
- De hoogste temperaturen zijn gemeten bovenin het depot (grondlaag op 0,1 meter onder de bovenkant). Plaatselijk is bovenin 70 °C gemeten. De temperatuur neemt naar beneden toe af. In

---

de bovenste 0,3 meter van het depot lag de temperatuur rond de 55 °C en de verschillen in temperatuur tussen de sensoren in deze laag zijn marginaal. Variërend tussen 0,35 en 1,9 meter beneden de bovenkant van het depot ligt de grens van 50 °C. In de onderste 0,25 meter van het depot (vanaf 2,15 meter beneden de bovenkant) en tevens het natste gedeelte, is de minimale vereiste temperatuur van 40 °C niet bereikt (range: 39,2-46,6). Nabij de injectiefilters zal de temperatuur veel hoger zijn geweest;

- Thermische energie is in overmaat toegevoerd. Het is niet onderzocht hoe groot de overmaat is geweest en in hoeverre een kortere verwarmingstijd of een lagere temperatuur ook voldoende zou zijn geweest. Dergelijke optimalisaties zijn onderwerp voor een vervolgonderzoek;
- Het elektriciteitsverbruik van de heaters wordt globaal geschat op 20.000 tot 40.000 kWh. Dit is inclusief het gebruik tijdens de opstartfase die later door de weersomstandigheden moest worden stilgelegd. Het energieverbruik van de ventilator en randapparatuur is verwaarloosbaar ten opzichte van het verbruik van de heaters en is niet meegenomen in de schatting;
- De bodemkwaliteitskeuring na afloop van de behandeling toont aan dat de partij voldoet aan de kwaliteitsklasse Achtergrondwaarde en vrij kan worden toegepast.

### **Overige conclusies m.b.t. de effectiviteit van de thermische behandeling**

- Het nemen van grondmonsters met behulp van een grondboor is na een warmtebehandeling praktisch lastig uitvoerbaar vanwege de (te) droge grond. De boringen leverde onvoldoende materiaal op en de boordiepte was beperkt (alleen 0-50 cm);
- Wat opvalt is dat bij de nulmeting, voorafgaande aan de thermische behandelingen, maar 10% van de uitgezeefde wortelstokfragmenten vitaal was. De voorgeschiedenis van de groeiplaats biedt geen aanknopingspunten voor een verklaring waarom slechts zo'n relatief klein deel van de wortelstokken vitaal is. De groeiplaats van de duizendknoop is alleen enkele keren gemaaid;
- Na behandeling van een vak zijn er geen vitale wortelstokfragmenten in de grondmonsters aangetroffen;
- De schouwrondes van eind augustus tot half november laten geen (her)groei van duizendknoop uit wortelstokfragmenten zien;
- Ook de onderste laag in het depot is na behandeling vrij van duizendknoop ondanks dat de temperatuur daar niet hoger dan circa 40 °C is geweest en er na afloop van de warmtebehandelingen geen grondmonsters uit die laag konden worden genomen ter verificatie;
- Door de verhoogde temperatuur tijdens de behandelingen is het aannemelijk dat al het bodemleven is gedood. Echter, circa twee weken na het uitspreiden van de behandelde grond kwamen de eerste kruiden (niet duizendknoop) en grassen weer op. Waarschijnlijk hebben de zaden de hitte behandeling overleefd, maar het is niet volledig uit te sluiten dat een deel van de zaden is ingewaaid vanuit de directe omgeving;
- Aan het einde van de schouwperiode zijn 34 verschillende soorten kruiden en grassen geïdentificeerd. Meest voorkomende soorten op de behandelde grond waren: Teunisbloem (*Oenothera x fallax*), Bezemkruiskruid (*Senecio inaequidens*), Smalle en Vergeten Wikke (*Vicia sativa*) en Fioringras (*Agrostis stolonifera*). Het betreft soorten die algemeen voorkomen in het Havengebied. In hoeverre het overige bodemleven zich heeft hersteld is niet onderzocht.

### **Aanbevelingen**

- Nader onderzoek naar optimalisatie van het benodigde temperatuurregime is gewenst. Mogelijk zijn kortere perioden van verwarmen ook al voldoende;
- Verbetering van de methode voor het nemen van grondmonsters zodat ook in drogere grond monsters kunnen worden verzameld;
- Ontwikkelen van een standaard protocol voor het bepalen van het aantal en de posities voor het nemen van grondmonsters zodat de resultaten een representatief beeld geven voor het totale grondvolume;
- Beter inzicht verkrijgen in het totale energieverbruik en kosten;
- Mogelijkheden onderzoeken om de methode *in situ* toe te passen, daarmee vervalt het transport van besmette grond naar een depot en wordt het risico op verdere verspreiding kleiner;
- Nader onderzoek naar het effect en herstelvermogen van de biologische bodemkwaliteit (bodemleven) na een thermische behandeling.



---

## **Tenslotte**

De pilot voor het thermisch behandelen van met duizendknoopresten besmette grond (*ex situ*) heeft kunnen plaatsvinden dankzij de medewerking en medefinanciering door het Havenbedrijf Rotterdam en de firma Iv-Infra b.v. Zij hebben ons geholpen bij o.a. de levering van de grond, inrichting van het depot, vergunningen etc. en door de constructieve inhoudelijke discussies die we lopende het project hebben gehad. Dank ook aan het Bureau Stadsnatuur dat heeft geholpen met de inventarisatie van de kruiden en grassen die op de behandelde grond weer opkwamen.



---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Invasieve exotische plantensoorten zijn soorten die van nature niet in Nederland voorkomen en door menselijk handelen hier terecht zijn gekomen en schade aanrichten of kunnen aanrichten aan natuur, economie, veiligheid of gezondheid van mens en dier. Transport, handel en toerisme zijn de belangrijkste routes. Exoten kunnen per ongeluk hier terechtkomen, bijvoorbeeld door transporten, of opzettelijk door het verhandelen van exotische vijver- en tuinplanten. Een klein deel van de exoten kan zich vestigen in onze natuur. Gaat een soort zich snel vermeerderen dan spreken we van een invasieve exoot. Lokaal vindt verspreiding van uitheemse soorten vaak plaats langs de (hoofd) transportwegen zoals autosnelwegen, spoorwegen, kanalen en rivieren (Hulme *et al.*, 2009; 2008).

Een invasieve exoot die door terreinbeheerders als belangrijkste plaagsoort wordt aangemerkt is Aziatische duizendknoop (*Fallopia spp.*). Duizendknoop is inheems in Japan, China, Taiwan en Korea. Rond 1830 is de soort vanuit Japan als tuinplant naar Nederland gehaald en heeft zich van daaruit verspreid over grote delen van Europa (Figuur 1). In Nederland komen deze duizendknoopsoorten voor op zeer uiteenlopende standplaatsen, o.a. in stedelijk gebied, spoordijken, braakliggende terreinen, wegbermen (ook middenbermen van snelwegen), rivierkribben, bosranden, beekoevers en dijken ([www.verspreidingsatlas.nl](http://www.verspreidingsatlas.nl)). De aanwezigheid van duizendknoop leidt tot het verdwijnen van inheemse flora, veroorzaakt schade aan kapitaalgoederen, vormt een risico voor de veiligheid (groeit o.a. in putten, schakelkasten en vergroot de erosiegevoeligheid van taluds) en leidt tot extra kosten voor herstel- en beheerwerkzaamheden.

De firma Hannover Milieu- en Veiligheidstechniek B.V. (Hmvt) en Wageningen Research hebben gezamenlijk een methodiek ontwikkeld voor het reinigen van met Aziatische duizendknoopresten besmette grond (*in situ* en *ex situ*) door middel van verhitting met hete lucht. In samenwerking met het Havenbedrijf Rotterdam en de firma Iv-Infra b.v. is het concept getest in een *ex situ* pilot op een locatie in het havengebied (*proof of principle*).



**Figuur 1** Aziatische duizendknoop in het Havengebied Rotterdam.

## 1.2 Probleemstelling

Voor de bestrijding van Aziatische duizendknoop zijn momenteel verschillende bestrijdingsmethoden beschikbaar zoals mechanisch, thermisch, chemisch of biologisch (Tabel 1). Elke methode heeft z'n specifieke voor- en nadelen en variëren sterk in effectiviteit. De meest gangbare bestrijdingsmethoden zoals maaien en heet water zijn gericht op het regelmatig verwijderen van de bovengrondse delen van de plant. Deze aanpak heeft echter, ook op lange termijn, vaak niet het gewenste effect omdat de wortelstokken (ondergrondse stengels) intact blijven.

Voor een effectieve bestrijding van duizendknoop bieden methoden die de wortelstokken aanpakken meer perspectief. Echter, behalve grootschalig afgraven of het toepassen van onkruidbestrijdingsmiddelen zijn er geen methoden of technieken voorhanden die direct aangrijpen op de wortelstokken. Grootschalig afgraven van groeiplaatsen is effectief maar deze aanpak genereert een groot volume van met duizendknoop besmette grond waarvoor momenteel nog geen effectieve verwerking bestaat behalve storten of verbranden dat weinig duurzaam en relatief duur is. Afgraven is op veel locaties niet mogelijk en het geeft ook een groot risico op verdere verspreiding van de duizendknoop via machines en grondtransporten. Het toepassen van onkruidbestrijdingsmiddelen (o.a. glyfosaat) is effectief (Oldenburger *et al.*, 2017) en wettelijk toegestaan maar wordt door de meeste terreinbeheerders niet (meer) toegepast vanwege de maatschappelijke weerstand tegen het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Het gebruik van onkruidbestrijdingsmiddelen wordt ook wettelijk steeds verder ingeperkt. Mogelijk bieden thermische technieken die worden toegepast bij bodemsaneringsprojecten mogelijkheden om de ondergrondse wortelstokken van duizendknoop te bestrijden, ook op grotere dieptes.

**Tabel 1** Overzicht gangbare bestrijdingsmethoden Aziatische duizendknoop en een inschatting van de effectiviteit (*Kennisnetwerk Invasieve Exoten*).

Categorie	Methode	Beheersen	Bestrijden
Mechanisch	Maaien	X	
	Uittrekken/uitsteken, jonge, kleine haarden		X
	Uittrekken/uitsteken, oudere, grote haarden	X	
Thermisch	Heet water	X	
	Elektriciteit (aanstippen stengels)	X	
Chemisch	Glyfosaat (o.a. RoundUp), stengelinjectie		X
	Glyfosaat, bladbehandeling		X
	Glyfosaat, stobbenbehandeling		X
	Vetzuur+kiemremmer (o.a. Ultima)	X	
Biologisch	Japanse bladvlo*	X	
	Japanse bladschimmel*	X	
Overige	Uitgraven onder sanerende omstandigheden		X
	Ontgraven, zeven en terugstorten		X
	Ontgraven, verhitten en terugstorten		X
	Afdekken		X
	Begrazing (schapen of varkens)	X	

\*Perspectiefvol maar nog in experimenteel stadium.

## 1.3 Projectdoelstelling

Het doel van dit project is antwoord te geven op de vraag in hoeverre grond besmet met wortelfragmenten van Aziatische duizendknoop door middel van verhitting met hete lucht gereinigd kan worden. Voor deze pilot is gekozen voor een *ex situ* aanpak, dat wil zeggen de te reinigen grond is in een daarvoor aangelegd depot opgeslagen en behandeld. Uit de testen moet blijken (1) of het technisch mogelijk is de grond in het depot op de gewenste temperatuur te krijgen en te houden en (2) of er na de behandeling nog levensvatbare duizendknoopresten in de grond aanwezig zijn of dat er sprake is van een volledige bestrijding.

---

## 2 Aziatische duizendknoop

### 2.1 Planteigenschappen en herkomst

Aziatische duizendknoop is inheems in Japan, China, Taiwan en Korea. Rond 1830 is de soort vanuit Japan als tuinplant naar Nederland gehaald (Figuur 2). Vanuit de hortus in Leiden heeft de soort zich verspreid over Nederland en grote delen van Europa. In Nederland is de soort pas na 1950 op grote schaal gaan verwilderen als gevolg van het storten van tuinafval met plantenresten en inmiddels komt de soort in vrijwel heel Noordwest-Europa voor. Planten worden aangetroffen op zeer uiteenlopende niet te voedselarme en/of te droge standplaatsen zoals spoordijken, braakliggende terreinen, wegbermen (ook middenbermen van snelwegen), rivierkribben, bosranden en beekoevers. De soort gedijt goed op zogenaamde geroerde gronden, bijvoorbeeld na graafwerkzaamheden of storten van met duizendknoop besmette grond.

Naast de Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*) komen in Nederland ook de Reuze of Sachalinse duizendknoop (*Fallopia sachalinensis*) en de Boheemse duizendknoop (*Fallopia x bohemica*) voor. De Boheemse duizendknoop is een hybride tussen *F. japonica* en *F. sachalinensis* en wordt in Nederland op steeds meer plaatsen aangetroffen. Deze duizendknoopsoorten worden vaak aangeduid onder dezelfde naam, namelijk Aziatische duizendknoop. Ook in dit rapport worden de duizendknoop soorten verder aangeduid als Aziatische duizendknoop, tenzij anders aangegeven. Met betrekking tot de wijze van bestrijden en de effectiviteit van bestrijdingsmethoden is er weinig verschil tussen de soorten.



**Figuur 2** Aziatische duizendknoop (*Fallopia japonica*) in bloei (augustus).

Aziatische duizendknoop is een vaste plant met lange en sterk vertakte ondergrondse wortelstokken (ondergrondse stengels). Het merendeel van de wortelstokken bevinden zich in de laag tot 80-100 cm onder maaiveld, maar dieper komt ook voor. De wortelstokken kunnen variëren in dikte van 5 mm tot vuistdikte. Bij oude groeiplaatsen groeien de dikste stengels vaak vanuit een grote centrale 'stronk'. In het voorjaar groeien vanuit de knopen op wortelstokken in korte tijd veel dicht bij elkaar staande stengels met een groot bladoppervlak. Afhankelijk van de standplaats kunnen de stengels 3 tot 4 m hoog worden. Uit de wortelstokken groeien ook 'echte' wortels voor opname van water en voedingsstoffen (Figuur 3). De planten verdragen zware schaduw minder goed. De plant bloeit in augustus en september met crème-witte bloemen. Tegen de winter sterven de bovengrondse delen van de plant weer af.

## 2.2 Verspreiding

Menselijk handelen vormt het grootste risico met betrekking tot de verspreiding van de soort over grotere afstanden. Denk hierbij aan transport van wortel- en stengelfragmenten na machinale maaiwerkzaamheden of transport van grond waarin zich nog delen van wortelstokken en stengels bevinden. Ook het laten liggen van maaisel van duizendknoop vormt een risico op verdere verspreiding door versleping. Bovendien draagt het niet bij aan verbetering van de biodiversiteit omdat de gewenste vershraling van bermen op deze wijze niet wordt gerealiseerd. Fragmenten van wortelstokken en/of bovengrondse stengels kleiner dan één cm kunnen uitgroeien tot nieuwe planten. Komen deze fragmenten op een andere plek op de grond terecht dan groeien daar weer nieuwe planten uit. Jonge, individuele planten zijn nog relatief eenvoudig te verwijderen. Eenmaal gevestigde haarden zijn moeilijk weg te krijgen. De stengels die in de winter afsterven vormen geen risico op verdere verspreiding.

In Nederland worden bij Aziatische duizendknoop steeds vaker kiemkrachtige zaden aangetroffen. In veel gevallen blijkt Chinese bruidsluier de stuifmeelbron te zijn. Op dit moment lijkt de kans op kieming in het veld van de zaden van de hybride tussen Aziatische duizendknoop en Chinese bruidsluier (*Fallopia* × *conollyana*) klein, de hybride lijkt niet erg concurrentiekrachtig en is in Nederland nog niet in het wild aangetroffen. Echter, het feit dat deze zaden gevormd kunnen worden brengt twee nieuwe gevaren met zich mee:

- door zaadvorming ontstaat een extra vermeerderings- en verspreidingswijze naast de verspreiding via wortel- en stengelfragmenten, en zaden worden gemakkelijk verspreid met de wind en via water, waardoor de duizendknoop zich nog sneller kan verspreiden.
- Door generatieve voortplanting wordt de genetische variëteit van de duizendknopen groter waardoor ze zich mogelijk beter kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden waardoor de concurrentiekracht nog groter wordt. Om vergroting van de genetische diversiteit te voorkomen moet de bestrijding van mannelijke planten van de Aziatische duizendknoopsoorten hoge prioriteit krijgen (Leferink, *et al.*, 2020).

Voor de meeste plantensoorten geldt dat het merendeel van de wortels zich bevindt in de laag tot ca. 100 cm onder maaiveld. Soort-specifieke eigenschappen en bodemopbouw spelen daarbij een rol. Ook de wortelstokken van Aziatische duizendknoop bevinden zich overwegend in deze bovenste bodemlaag, maar dieper gelegen wortelstokken komen soms ook voor. Wortelstokken van duizendknoop zijn te herkennen aan de karakteristieke oranje kleur (Figuur 3).



**Figuur 3** Wortelstokken van Aziatische duizendknoop met de karakteristieke oranje kleur.

---

## 2.3 Schade en risico's

Door de snelle groei en het gesloten bladerdek van Aziatische duizendknoop worden inheemse plantensoorten verdrongen, de wortelstokken woekeren sterk en zijn daarmee in staat om schade te veroorzaken aan bouwwerken, leidingen en infrastructuur. Oevers en taluds worden instabieler en erosiegevoeliger door verdringing van de ondergroei, vooral in de winterperiode als duizendknoop bovengronds afsterft en daarmee de bodem onbedekt is.

De aanwezigheid van Aziatische duizendknoop betekent extra kosten voor beheerwerkzaamheden zoals monitoring, bestrijding, voorlichting personeel en nazorg. Extra kosten kunnen ook zitten in voorzorgmaatregelen om verdere verspreiding te voorkomen zoals schoonmaken van machines, reinigen van grond, controleren van grond op aanwezigheid van Aziatische duizendknoop etc. Het gaat hierbij om tientallen miljoenen euro's per jaar aan extra kosten die zowel door publieke (o.a. gemeenten, waterschappen) als private partijen (o.a. infra, projectontwikkeling, GWW-sector) moeten worden opgebracht.

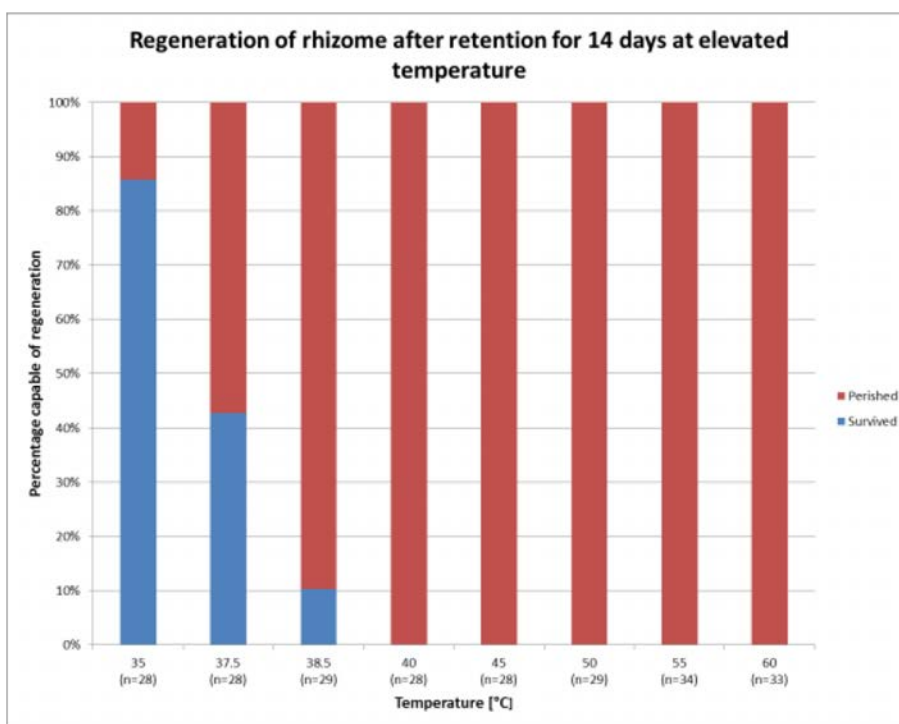
Het investeren in de aanpak van de Aziatische duizendknoop kan voorkomen dat de situatie in Nederland vergelijkbaar wordt met die in Engeland. Daar zijn de problemen zo groot dat er zelfs sprake van waardevermindering van bouwkavels en vastgoed als de duizendknoop er groeit.

## 3 Opzet en uitvoering

### 3.1 Thermische bestrijding duizendknoop

Voor het thermisch reinigen van met duizendknoopresten besmette grond is het van belang vooraf een inschatting te maken van het temperatuurregime (temperatuur en tijd) dat minimaal nodig is om wortelstokfragmenten en resten van stengels van verschillende diktes te doden. Uit composteringsonderzoek is bekend dat hergroei van wortelstokken en groene stengels van duizendknoop effectief wordt gestopt bij verhitting boven 55 °C gedurende 3 dagen (Day *et al.* 2009). Dit temperatuurregime is ook de basis in de voorwaarden voor compostering van duizendknoop zoals die in het BVOR certificaat zijn opgenomen (BVOR). Lagere temperaturen gedurende langere tijd kunnen ook afdoende zijn (MacFarlane, 2011), de ondergrens ligt bij 40 graden gedurende 14 dagen (Figuur 4).

Op basis van bovenstaande informatie is voor de pilot de keuze gemaakt het grondvolume geleidelijk op te warmen tot minimaal 55 °C gedurende drie dagen of minimaal 40 °C gedurende 7 dagen en het daarna weer te laten afkoelen. Dit temperatuurregime moet afdoende zijn voor doding van duizendknoop wortelstokfragmenten en resten van stengels.



**Figuur 4** Percentage hergroei van duizendknoop wortelstokfragmenten ('rhizome') na verhitting gedurende 14 dagen (Uit: MacFarlane, 2011).

### 3.2 Groeiplaats Aziatische duizendknoop

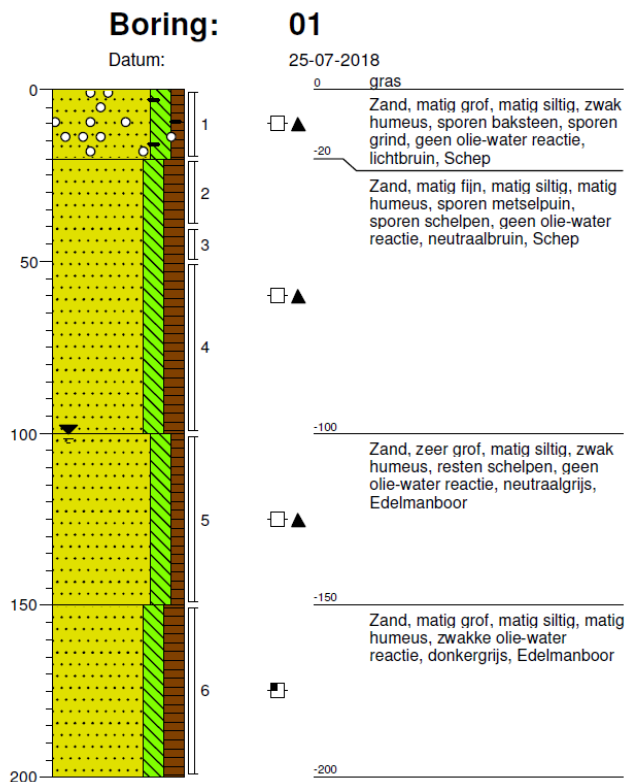
In de onverharde berm langs de D'Arcyweg te Rotterdam bevindt zich een groeiplaats van Boheemse duizendknoop, *Fallopia x bohemica* (RD-coördinaten 67421, 439845; kadastraal geregistreerd als Rotterdam 12e afdeling, sectie AL, nummer 965). De stengels van de duizendknoop zijn in het verleden enkele malen afgeknipt en afgevoerd, maar verder zijn er geen bestrijdingsmethoden toegepast. Ten behoeve van asfalteringswerkzaamheden wordt de groeiplaats in het talud zo volledig



mogelijk afgegraven (Figuur 5). De vrijkomende grond met wortelstokfragmenten van de duizendknoop wordt gebruikt voor de pilot. De locatie valt in bodemkwaliteitszone 07b wat de verwachte kwaliteit van de bovengrond tot 1 m-mv natuur (schone grond) betreft<sup>1</sup>. Voor zover bekend hebben er op de locatie geen bodembedreigende activiteiten plaatsgevonden. Uit een boorbeschrijving van de bodemopbouw tot 2 m-mv uit 2018 blijkt dat de bodem ter plaatse bestaat uit zand (Figuur 6). Het grondwaterpeil ligt op circa 1 m-mv. Destijds is in de bovengrond (0-20 cm-mv) is een bijmenging met baksteen en metselpuin waargenomen. In de onderliggende laag (20-100 cm-mv) is een bijmenging met metselpuin en een olie-waterreactie waargenomen.



**Figuur 5** Groeiplaats van Aziatische duizendknoop (*Fallopia x bohemica*) aan de D'Arcyweg te Rotterdam.



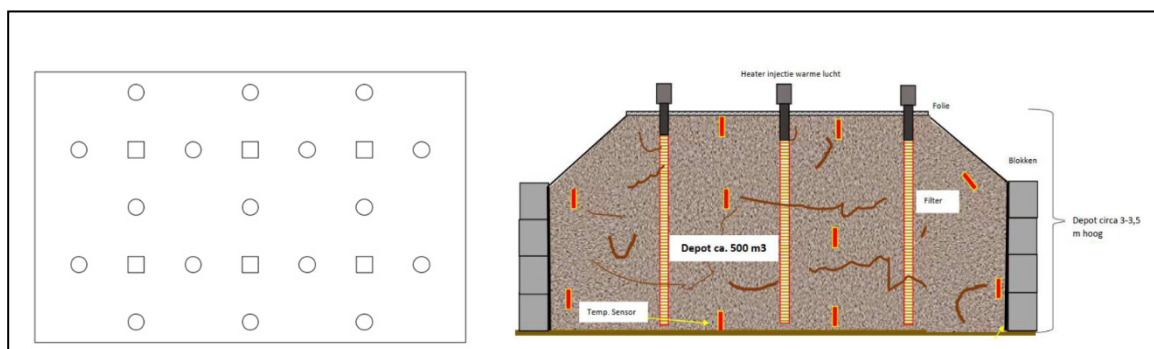
**Figuur 6** Beschrijving van de bodemopbouw tot 2 m-mv aan de D'Arcyweg te Rotterdam ter hoogte van de groeiplaats van Aziatische duizendknoop.

<sup>1</sup> Bodemkwaliteitskaart van Rotterdam (DCMR & gemeente Rotterdam, kenmerk MRO 04102012, d.d. 13 maart 2014).

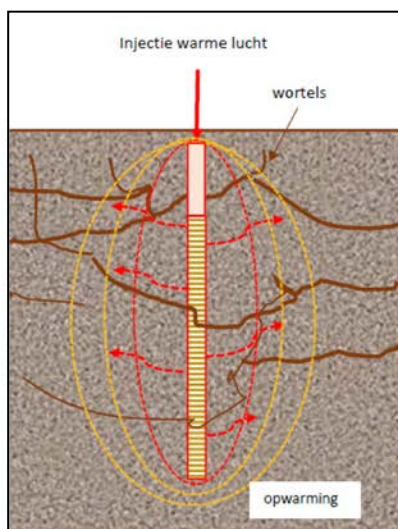
## 3.3 Thermische behandeling

### 3.3.1 Opzet thermische installatie

De met duizendknoop besmette grond wordt in een depot opgeslagen. In het depot worden verticale, stalen filterbuizen op beperkte afstand van elkaar geplaatst. Boven op elk filter wordt een heater aangebracht (Figuur 7). De heaters kunnen, afhankelijk van de beschikbare stroomaansluiting, worden opgewarmd tot enkele honderden graden Celsius. Met behulp van een sterke ventilator wordt lucht door slangen via de heaters en de filters de bodem in geblazen. De warme lucht die onder druk wordt ingeblazen, verspreidt zich in het depot (Figuur 8). Op deze manier wordt het hele depot opgewarmd. Isolatiematten die op de grond zijn aangebracht zorgen ervoor dat de warmte zoveel mogelijk in de grond wordt gehouden. Het depot wordt in twee gelijke delen verdeeld (Vak 1 en 2) die achtereenvolgens zullen worden behandeld. Dat betekent dat de filterbuizen één keer worden verplaatst. Voor bovenstaand beschreven methode loopt een patentaanvraag.



**Figuur 7** Opbouw depot (schematisch). Stalen filters met heaters boven het depot. Tussen de filters temperatuursensoren (O = heater, □ = temperatuur sensor).



**Figuur 8** Principe conductie techniek met warme lucht.

### 3.3.2 Volgen temperatuurstoename in het depot

In elk te behandelen vak worden meerdere temperatuursensoren geplaatst. De temperatuur wordt continue gemeten en elke minuut gelogd in het CARS-systeem en is op afstand uitleesbaar. De temperatuur zal dichtbij de filters (injectiepunten hete lucht) het hoogst zijn en neemt af naarmate de afstand tot het filter groter wordt. De temperatuursensoren zijn daarom midden tussen, en op maximale afstand van, de filters geplaatst. De op deze plekken gemeten temperatuur is daarmee als

het ware de "worst case", dat wil zeggen de laagste temperatuur in het behandelde vak. Als de minimale temperatuur van 55 °C gedurende drie dagen of 40 °C gedurende 7 dagen bij de verst weggelegen temperatuursensoren is bereikt, dan wordt verondersteld dat deze temperatuur in het hele behandelde deel van het depot is bereikt. Er moet echter rekening mee worden gehouden dat, bijvoorbeeld door kortsluitstromingen, bepaalde delen van het depot warmer en andere delen van het depot minder warm kunnen worden dan de temperatuursensoren aangeven.

### 3.3.3 Configuratie temperatuursensoren

Voorafgaande aan de behandeling van het eerste vak zijn op drie posities binnen het blok temperatuursensoren op verschillende diepte aangebracht. Op twee posities zijn sensoren geplaatst op een diepte van 0,1 meter, 0,35 meter, 1,35 meter en 2,35 meter vanaf de bovenkant van het depot. Op de derde positie zijn sensoren aangebracht op een diepte van 0,1 meter, 0,2 meter en 0,3 meter onder de bovenkant van het depot om het temperatuurverloop in de bovenste laag van het depot nauwkeurig te kunnen volgen. De overige sensoren zijn geplaatst in het talud (aan de open zijde van het depot) en buiten het raster van de injectiefilters, om het temperatuurverloop richting de depotwanden te monitoren.

## 3.4 Effectiviteitsbepalingen

### 3.4.1 Vitaliteitsmetingen

Voor het bepalen van de vitaliteit van duizendknoop wortelstokken worden met een standaard grondboor grondmonsters verzameld en machinaal gezeefd (2 cm). De uitgezeefde wortelstokfragmenten worden indien nodig afgespoeld met leidingwater om overtollige grond te verwijderen en vervolgens op een vochtige ondergrond gelegd, geteld en bij kamertemperatuur weggezet in een met niet-lichtdoorlatend plastic folie afgedekt plastic bakje. Na een incubatieperiode van ca. 10-14 dagen worden de wortelstokfragmenten visueel beoordeeld op vitaliteit. Vitaal wil in dit geval zeggen dat er een of meerdere witte, actieve knoppen, nieuwe scheuten of echte wortels zichtbaar zijn (Figuur 9). Het aantal vitale wortelstokfragmenten wordt geteld en uitgedrukt als percentage van het totaal aantal geïncubeerde fragmenten. Na de beoordeling wordt het plantmateriaal vernietigd (autoclaaf).



**Figuur 9** Vitale wortelstokken (ondergrondse stengels) drie dagen na opgraven. De nieuwe naar boven gerichte scheuten en de witte, naar beneden groeiende wortels zijn goed te onderscheiden.

---

### 3.4.2 Metingen voor en na behandeling

Voorafgaande aan elke behandeling (per vak) wordt bij het installeren van de filterbuizen de vrijkomende grond van drie dieptes apart verzameld (0-50, 50-125, 125-250 cm) en in afsluitbare plastic emmers opgeslagen. Na uitzeven wordt volgens bovenstaand beschreven methode de vitaliteit van de wortelstokfragmenten bepaald (nul-meting). Nadat een deel van het depot (vak) voldoende verwarmd is geweest (minimaal 55 °C gedurende drie dagen of minimaal 40 °C gedurende 7 dagen) worden steekproefsgewijs uit de betreffende grond een aantal grondmonsters verzameld en de vitaliteit van de daarin aanwezige wortelstokfragmenten bepaald. Deze bepalingen geven een indicatie van de effectiviteit van de behandeling. Voor het bepalen van het aantal posities voor het nemen van grondmonsters is geen protocol beschikbaar zoals we dat kennen voor de uitvoering van bodemkwaliteitsonderzoeken. Voor deze pilot zijn de posities op basis van *expert judgement* vastgesteld.

### 3.4.3 Monitoring lange termijn

De vitaliteitsbepalingen op basis van een aantal steekproefsgewijs genomen grondmonsters na behandeling bieden onvoldoende zekerheid dat alle duizendknoopresten in het totale grondvolume afdoende verhit zijn geweest. Om die reden zal nadat het totale grondvolume thermisch is behandeld en de uitkomsten van het vitaliteitsonderzoek negatief zijn (er zijn geen vitale wortelstokfragmenten in de grondmonsters zijn aangetroffen) de grond blijven liggen om daarna regelmatig gecontroleerd te worden op hergroei van duizendknoop. Hiervoor wordt de grond na afronding van de behandelingen uit het depot gehaald en ter plekke op de asfaltondergrond uitgespreid in een laag van ca. 40-50 cm dik. Om het wegspoelen van de uitgespreide grond te voorkomen wordt het benodigde oppervlak afgezet met vrijgekomen betonblokken van het depot. In de periode van drie tot vier maanden daarna wordt de grond regelmatig geschouwd op hergroei van duizendknoop.

---

## 4 Resultaten

### 4.1 Opbouw gronddepot

Eind november 2019 is aan de D'Arcyweg circa 200 m<sup>3</sup> grond met wortelstokken van Aziatische duizendknoop (*Fallopia x bohemica*) ontgraven (Figuur 10). De grond is vervolgens aan de Rijndwarsweg 2 te Europoort Rotterdam in depot gezet (Figuur 11). Er zijn geen specifieke bewerkingen uitgevoerd om de wortelstokfragmenten homogeen over het depot te verdelen. Het depot is op een asfalt ondergrond binnen wanden van betonblokken aangebracht. Tussen de betonblokken is cement aangebracht om de kieren te dichten. De hoogte van het depot bedraagt circa 2,4 meter (3 blokken van 0,8 meter hoog) bij een oppervlakte van circa 11 x 8 meter (7 x 5 blokken van 1,6 meter lang). De betonranden van het depot (betonblokken) zijn geplaatst voordat de grond was aangeleverd. Doordat er minder grond is geleverd dan verwacht, kon de betonbak niet volledig worden gevuld en rondom afgesloten met betonblokken. Dit resulteerde in een talud in het depot (zie Figuur 11). Aan de (smalle) frontzijde bleef het depot open.



**Figuur 10** Afgraving van de groeiplaats van Aziatische duizendknoop (*Fallopia x bohemica*) aan de D'Arcyweg te Rotterdam, november 2019.

### 4.2 Thermische behandelingen

De thermische behandeling van het eerste vak (1) is gestart op 27 januari 2020. Door enkele zware stormen en veel regenval in de daaropvolgende weken zijn op een gegeven moment de isolatiematten van het depot gewaaid. Door de gesloten blokkenwand kon het ingeregende water niet goed weg, wat resulteerde in een zeer natte partij grond, vooral onderin het depot. Als gevolg hiervan verliep de temperatuuropbouw traag en door het wegwaaien van een deel van de isolatiematten daalde de grondtemperatuur met name aan het oppervlak relatief snel. Het was onder die weersomstandigheden niet aannemelijk dat de gewenste temperatuur opbouw gehaald zou gaan worden. Om die reden is na circa vier weken (eind februari) besloten de proef stil te leggen en te wachten op betere omstandigheden.

### *Aanpassing filterbuizenconfiguratie*

De behandeling van het eerste vak (1) is op 17 maart 2020 opnieuw gestart. De heaters zijn daarbij ingesteld op een temperatuur van ca. 200 °C. Dat was de maximale temperatuur die met dit aantal heaters en de aanwezige stroomaansluiting (3x 50 Ampère) mogelijk was. De onderlinge afstand tussen de filters was 1,5 á 2 meter. Diagonaal was de afstand tussen de filters maximaal 2,6 meter. Om het hele pakket voldoende te verwarmen heeft elk filter in deze situatie een minimale invloedstraal nodig van 1 á 1,3 meter nodig. De temperatuurcurves laten zien (Bijlage 2, grafiek deel 1a) dat de temperaturen afvlakken en na drie weken opwarmen niet verder meer stijgen. Op de warmste plekken worden temperaturen van 55-60 °C gerealiseerd maar met name in de onderste lagen van het depot loopt de temperatuur niet verder op dan ca. 20-25 °C. Op basis van deze waarnemingen is geconcludeerd dat de afstand tussen de filters te groot was om overal de vereiste minimale temperatuur van 40 °C te bereiken, of dat het te lang zou gaan duren om het betreffende vak voldoende op te warmen. Het tussentijds verhogen van het luchtdebiet (27 maart) had geen effect op de temperatuur ter hoogte van de temperatuursensoren. Op basis van deze bevindingen is besloten de filterbuizen dichter bij elkaar te zetten. Gevolg daarvan was wel dat het depot met hetzelfde aantal filterbuizen niet in de geplande twee keer kon worden behandeld maar dat daarvoor meer behandelingen nodig waren.



**Figuur 11** Overzicht van de bouw en het vullen van het depot en installatie van de filterbuizen met heaters, luchtaanvoerslangen en bekabeling.

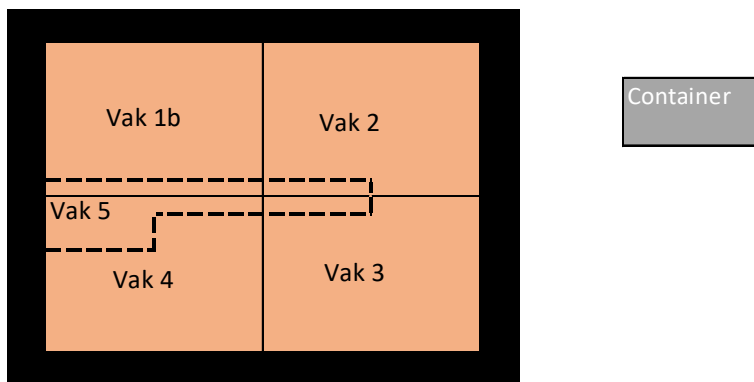
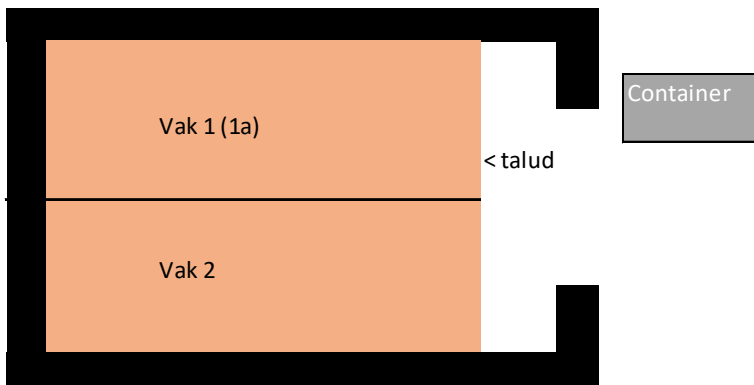
### *Aanpassing depot en indeling kleinere vakken*

In het talud aan de open zijde van het depot konden geen filters worden geplaatst, waardoor opwarming van dat deel van de grond slecht mogelijk was, en er mogelijk veel warmteverlies was via het schuin aflopende grondoppervlak. In overleg met de aannemer is afgesproken om de bak te verkleinen, zodat een volledig gevulde bak met een vlakke bovenkant zou ontstaan. Dit is op 7 en 8 april 2020 uitgevoerd (Figuur 12). Na de herinrichting van het depot (geen talud) is de vakverdeling van de behandelingen aangepast. Wat aanvankelijk vak 1 (van 2) was, is verder als vak 1a aangeduid, en het nieuwe vak 1 (van 4) is vak 1b genoemd (Figuur 13). De vakverdeling en de situering van de filterbuizen en temperatuursensoren per vak zijn weergegeven op de tekeningen in Bijlage 1. Voor aanpassing van de filterbuizenconfiguratie zijn drie extra heaters tussen de oorspronkelijk geplande zes heaters geplaatst. Hiermee is de onderlinge afstand tussen de heaters verkleind en bedraagt de onderlinge afstand nog 1 á

1,5 meter. Diagonaal was de afstand nog maximaal 2,2 meter in vak 1b en bij vak 2 en hoger maximaal 1,5 meter. Dat betekent dat de invloedstraal is teruggebracht van 1 á 1,3 meter tot 0,5 á 1 meter. De filters stonden na verplaatsing dus relatief dicht bij elkaar. In deze setting is de behandeling van vak 1b op 8 april 2020 opnieuw gestart. Op 24 april is vervolgens omgeschakeld naar vak 2 van het depot, en op 11 mei is omgeschakeld naar vak 3 van het depot. Om een beter dekkend beeld te krijgen van de temperatuur, zijn tijdens de behandeling van vak 2 (30 april) extra temperatuursensoren geplaatst en zijn de bestaande temperatuursensoren opnieuw aangesloten. Op een paar uitzonderingen na stonden de temperatuursensoren op de volgende dieptes: 0,1, 0,3, 1,3 en 2,3 m-mv.



**Figuur 12** Herinrichting van het depot: bovenaanzicht volledig gevuld depot met een vlakke bovenkant, zonder talud (april 2020).



**Figuur 13** Vakverdeling voor de volgorde van de thermische behandelingen, voor (boven) en na herinrichting van het depot (zie tekst voor verdere toelichting).

Na het behandelen van de vakken 1b, 2 en 3 van het depot ontstond de indruk dat met het behandelen van het depot in 4 vakken niet alle grond voldoende zou worden opgewarmd. Met name tussen vak 1b en 4 en tussen vak 2 en 3 zat een (waarschijnlijk te) brede strook waar de afstand tot de filters te groot is geweest om voor voldoende opwarming te zorgen. Als daardoor hergroei van de duizendknoop zou optreden, dan zou de proef ondanks alle inspanningen, niet als succesvol kunnen worden aangemerkt. Om dat te voorkomen is na de behandeling van vak 4 nog een extra verwarmingsronde (vak 5) uitgevoerd (Figuur 13). Door de wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke planning variëren de verwarmingsperioden per vak (Tabel 2). De kortere verwarmtijd van vak 1b is te verklaren omdat dit deel voor de herindeling van de vakken al verwarmd is geweest met de heaters van vak 1(a). Gemiddeld genomen was een periode van 18 tot 21 dagen (3 weken) nodig om een vak op te warmen en voldoende lang op temperatuur te houden. Hierbij is een overmaat aan warmte ingeblazen, om zeker te weten dat het depot voldoende verwarmd is geweest.

**Tabel 2** Begin- en einddatum en doorlooptijd in dagen van de verwarmingsperiodes (= opwarmen en voldoende lang op temperatuur houden) per vak.

	Opstart	Uitgezet	Looptijd (dagen)
Vak 1(a)	17 maart – 9:00 uur	7 april – 7:00 uur	21
Vak 1b	8 april – 15:00 uur	21 april – 14:00 uur	13
Vak 2	24 april – 15:00 uur	11 mei – 8:00 uur	17
Vak 3	11 mei – 14:00 uur	29 mei – 9:00 uur	18
Vak 4	29 mei – 15:00 uur	18 juni – 7:00 uur	20
Vak 5	18 juni – 15:00 uur	9 juli – 9:00 uur	21

#### *Temperatuurverdeling binnen het depot*

Op basis van de temperatuurmetingen in vak 1b zijn ter plaatse van de sensoren, na 13 dagen verwarmen, verschillende dwarsdoorsnedes gemaakt van de temperaturen in het betreffende deel van het depot (zie Bijlag 3). Een dwarsdoorsnede is een momentopname van de temperatuur op enig moment. Uit de temperatuurprofielen blijkt dat het bovenin het depot (op 0,1 meter onder de bovenkant) het warmste is geworden waarbij temperaturen tot 70 °C zijn gemeten (rond de filterbuizen zal temperatuur veel hoger zijn geweest). De temperatuur neemt naar beneden toe af. In de bovenste 0,3 meter van het depot lag de temperatuur rond de 55 °C en de verschillen in temperatuur tussen de sensoren in deze laag zijn marginaal. Variërend tussen 0,35 en 1,9 meter beneden de bovenkant van het depot ligt de grens van 50 °C. In de onderste 0,25 meter van het depot (vanaf 2,15 meter beneden de bovenkant) en tevens het natste gedeelte, is de minimale vereiste temperatuur van 40 °C net bereikt (range: 39,2-46,6).

#### *Stroomverbruik*

Voor de levering van de elektriciteit is gebruik gemaakt van een bestaande aansluiting van het Havenbedrijf. Een globale inschatting is dat de heaters op 20% tot 40% van de capaciteit hebben gewerkt. De installatie heeft vanaf 17 maart circa 110 dagen, 24 uur per dag, verwarmd. Dit komt neer op 2.640 uur. Op basis van de berekening van 20% á 40% x 2.640 uur x 36 kW wordt ingeschat dat opwarming tussen de 20.000 en 40.000 kWh aan energie heeft gekost. Het energieverbruik van de ventilator en randapparatuur is vrijwel verwaarloosbaar ten opzichte van het verbruik van de heaters en is niet meegenomen in de schatting.

## 4.3 Effectiviteit

### 4.3.1 Nul-meting

Op 19 december 2019 is voor aanvang van de behandeling van het eerste vak grond verzameld uit de lagen 0-50 en 50-100 cm. In beide grondmonsters zijn 13 fragmenten van duizendknoop aangetroffen waarvan er respectievelijk 7 en 4 vitaal waren. Ook voorafgaande aan de behandelingen van vak 2 tot en met 4 zijn monsters verzameld en de wortelstokken getest op vitaliteit (Tabel 3). Na de



behandeling van het later nog toegevoegde vak 5 zijn geen monsters meer genomen. De monsters zijn genomen in de lagen 0-125 en 125-250 cm om voldoende materiaal te hebben. In alle grondmonsters waren fragmenten van wortelstokken aanwezig, het aantal per monster varieerde van 4 tot 60 stuks. Het aantal vitale wortelstok fragmenten varieerde van 0 tot 15 stuks. In totaal zijn voorafgaande aan de behandelingen 1058 fragmenten van duizendknoop wortelstokken aangetroffen waarvan circa 10% vitaal was.

**Tabel 3** Bepaling aantal vitale wortelstokken (n) voorafgaande aan de behandeling van de verschillende blokken

Vak	diepte (cm)	Mtp 1		Mtp 2		Mtp 3		Mtp 4		Mtp 5		Mtp 6		Totaal	
		wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)
1b	50-100	13	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	7
	100-250	13	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	4
2	0-125	15	1	8	3	4	1	12	0	-	-	-	-	39	5
	125-250	5	0	16	1	18	1	22	0	-	-	-	-	61	2
3	0-125	26	4	45	4	60	5	60	4	44	2	38	2	273	21
	125-250	46	3	38	6	60	15	48	5	36	2	37	0	265	31
4	0-125	32	3	55	2	47	5	57	5	49	10	26	0	266	25
	125-250	28	1	35	0	35	2	30	3	-	-	-	-	128	6
														1058	101

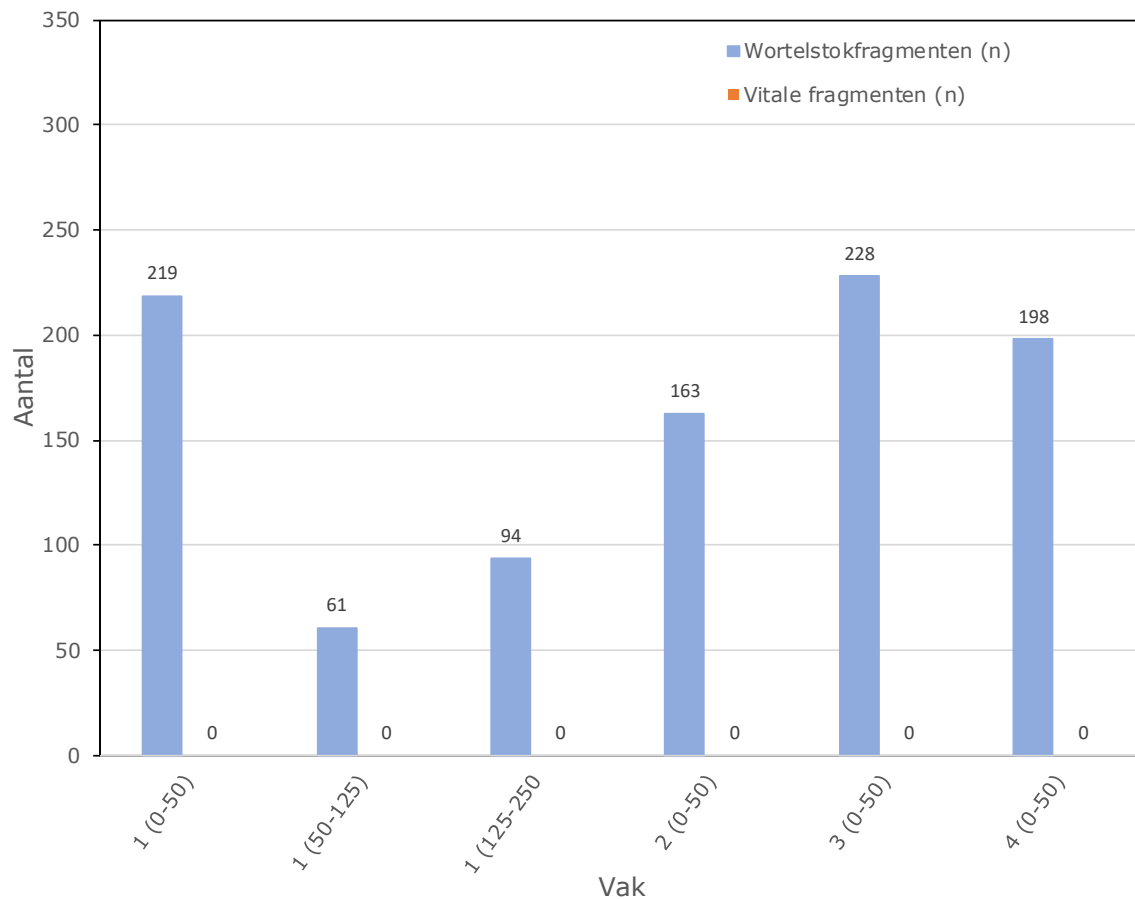
#### 4.3.2 Effectiviteit thermische behandelingen

Na afloop van de behandeling van Vak 1 is getracht om volgens de planning op verschillende punten grondmonsters te verzamelen op drie verschillende dieptes, namelijk 0-50, 50-125 en 125-250 cm. Dit bleek maar op drie van de zes meetpunten mogelijk (Tabel 4). Op de andere punten was de grond door de behandeling te droog geworden om een grondmonsters te kunnen steken. De losse droge grond viel uit de grondboor. Ter vervanging van de grondboor is op de overige meetpunten met een schop grond verzameld tot een diepte van 50 cm, dieper was praktisch gezien niet mogelijk.

Na elke behandeling is in het betreffende vak op zes verschillende punten een grondmonster verzameld (0-50 cm), zijn de wortelstokfragmenten uitgezeefd en getest op vitaliteit. In alle grondmonsters waren wortelstokfragmenten van duizendknoop aanwezig, maar er zijn geen vitale wortelstokfragmenten aangetroffen (Figuur 14).

**Tabel 4** Eindmeting voor het bepalen van het aantal vitale wortelstokken (n) in de grond na thermische behandeling

Vak	diepte (cm)	Mtp 1		Mtp 2		Mtp 3		Mtp 4		Mtp 5		Mtp 6		Totaal	
		wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)	wortelstokken (n)	vitaal (n)
1b	0-50	12	0	28	0	42	0	50	0	55	0	32	0	219	0
	50-125	-	-	-	-	18	0	18	0	-	-	25	0	61	0
	125-250	-	-	-	-	32	0	34	0	-	-	28	0	94	0
2	0-50	43	0	23	0	25	0	8	0	40	0	24	0	163	0
3	0-50	50	0	29	0	45	0	12	0	52	0	40	0	228	0
4	0-50	35	0	28	0	47	0	33	0	20	0	35	0	198	0
														963	0



**Figuur 14** Totaal aantal en het aantal vitale wortelstokken per vak na thermische behandeling. Tussen haakjes de bemonsteringsdiepte (cm).

#### 4.3.3 Monitoring lange termijn

Op 24 augustus (46 dagen na beëindiging van de laatste behandeling) is de grond uit het depot uitgespreid in een laag van circa 40-50 cm op de geasfalteerde ondergrond (Figuur 15). De onderste laag grond in het depot is op dezelfde plek blijven liggen. Na uitspreiding is de grond in de periode van eind augustus tot half november in totaal 11 keer geschouwd op hergroei van duizendknoop (Tabel 5).



**Figuur 15** Overzicht van het depot na uitspreiding van de grond in een laag van ca. 40-50 cm op asfalt ondergrond en afgezet met betonblokken om wegspoelen te voorkomen.

In de gehele schouwperiode is geen (her)groei van duizendknoop uit wortelstokfragmenten waargenomen. Aan het grondoppervlak waren wortelstokfragmenten van verschillende diktes zichtbaar maar uitgroei van nieuwe scheuten is niet geconstateerd. Na circa twee weken begonnen de eerste zaailingen van kruiden en grassen op te komen (Figuur 16). Medio november is door Bureau Stadsnatuur een inventarisatie van deze soorten gemaakt. De meest voorkomende soorten zijn Teunisbloem (*Oenothera x fallax*), Bezemkruid (*Senecio inaequidens*), Smalle en Vergeten Wikke (*Vicia sativa*) en Fioringras (*Agrostis stolonifera*). Dit zijn algemeen voorkomende soorten in het Havengebied. Daarnaast zijn nog 30 andere kruiden en grassen aangetroffen, variërend van 1 à 2 exemplaren per soort tot enkele tientallen. Een volledig overzicht van de aangetroffen soorten is te vinden in Bijlag 4.

**Tabel 5** Beoordeling grond na behandeling op hergroei van duizendknoop.

Nr. Schouw-ronde	Datum	Waarnemingen
0	24-8-2020	grond uit het depot uitgespreid in een laag van circa 40-50 cm
1	31-8-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar
2	7-9-2020	Aan het grondoppervlak zijn fragmenten van wortelstokken zichtbaar, maar geen (her)groei geconstateerd
3	9-9-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar. Zaailingen van verschillende kruiden zichtbaar.
4	14-9-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar
5	24-9-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar
6	1-10-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar
7	8-10-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar
8	15-10-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar
9	23-10-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar
10	19-11-2020	Geen hergroei duizendknoop zichtbaar. Inventarisatie van kruiden en grassen.



**Figuur 16** Voorbeeld van opkomst van kruiden en grassen na de behandeling, medio november.

---

## 4.4 Bodemkwaliteit

Uit een analyse van de bovengrond op de ontgravingslocatie is gebleken dat de minerale olie concentratie hoger was dan de achtergrondwaarde. Op basis van het gehalte aan minerale olie is de ontgraven grond geclassificeerd als klasse Industrie. Bij het ontgraven is zowel visueel als analytisch geen asbest aangetoond.

Na afloop van de warmtebehandeling ten behoeve van de bestrijding van de Aziatische Duizendknoop is een partijkeuring conform de BRL SIKB protocol 1001 uitgevoerd (ATKB, 16 november 2020, kenmerk 20201176/rap01 versie 1). Uit de keuring blijkt dat de partij voldoet aan de kwaliteitsklasse Achtergrondwaarde en vrij kan worden toegepast. Blijkbaar is het gehalte aan minerale olie als gevolg van de warmtebehandeling gedaald tot onder de achtergrondwaarde.

---

## 5 Conclusies en aanbevelingen

De aanwezigheid van Aziatische duizendknoop leidt tot het verdwijnen van inheemse flora, veroorzaakt schade aan kapitaalgoederen, vormt een risico voor de veiligheid (groeit o.a. in putten, schakelkasten en vergroot de erosiegevoeligheid van taluds) en leidt tot extra kosten voor herstel- en beheerwerkzaamheden. Transport en (her)gebruik van met duizendknoop besmette grond geeft een groot risico op verdere verspreiding van de duizendknoop.

In deze pilot is onderzocht of met duizendknoop besmette grond lokaal *ex situ* thermisch voldoende gereinigd kan worden voor veilig hergebruik. Voor de pilot is circa 200 m<sup>3</sup> grond klasse Industrie met wortelstokfragmenten van Aziatische duizendknoop gebruikt. De grond is in depot gezet, daarbij zijn geen specifieke bewerkingen uitgevoerd om de wortelstokfragmenten homogeen over het depot te verdelen. Op basis van literatuur gegevens en *expert judgement* is voor een aanpak gekozen waarbij het grondvolume geleidelijk wordt opgewarmd tot minimaal 55 °C gedurende drie dagen of minimaal 40 °C gedurende 7 dagen en het daarna weer te laten afkoelen. Dergelijke temperatuurregimes zouden afdoende moeten zijn om de duizendknoop te doden.

### Conclusies

De pilot heeft aangetoond dat het technisch mogelijk is om grotere grondvolumes in een depot door middel van hete lucht op te warmen tot temperaturen van minimaal 40 °C. Gemiddeld duurde het 18 tot 21 dagen om een vak op te warmen en gedurende minimaal zeven dagen op temperatuur te houden. Voor de in deze pilot toegepaste methode is patent aangevraagd.

In de grondmonsters die na elke thermische behandeling zijn verzameld zijn geen vitale wortelstokfragmenten aangetroffen. Ook gedurende de schouwperiode na afloop van de behandelingen is geen hergroei van duizendknoop waargenomen. Op grond van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de effectiviteit van de toegepaste thermische behandeling 100% bedroeg.

### Overige conclusies m.b.t. de technische uitvoering van de pilot

- Tijdens de uitvoering van de pilot is gebleken dat er diverse aanpassingen in de technische opzet nodig waren om de gewenste minimale temperaturen te kunnen bereiken, zoals kortere afstanden tussen de filters (meer heaters geplaatst), meer temperatuursensoren (voor een beter beeld van het temperatuurprofiel), geheel omsloten depot (geen talud) en bij voorkeur geen dichte ondergrond i.v.m. de afvoer van regenwater;
- Onder de extreme weersomstandigheden aan het begin van de pilot (januari-februari 2020) met storm en veel neerslag bleek het niet mogelijk het opwarmingsproces gaande te houden. De installatie moest toen noodgedwongen worden stil gelegd in afwachting van betere omstandigheden;
- Met de beschikbare stroomaansluiting was het niet mogelijk het depot in keer te verwarmen. Er is een denkbeeldige vakkenverdeling (5) gemaakt die achtereenvolgens zijn behandeld. Dit betekende dat de filterbuizen, heaters, leidingen en temperatuursensoren meerdere malen verzet moesten worden;
- De hoogste temperaturen zijn gemeten bovenin het depot (grondlaag op 0,1 meter onder de bovenkant). Plaatselijk is bovenin 70 °C gemeten. De temperatuur neemt naar beneden toe af. In de bovenste 0,3 meter van het depot lag de temperatuur rond de 55 °C en de verschillen in temperatuur tussen de sensoren in deze laag zijn marginaal. Variërend tussen 0,35 en 1,9 meter beneden de bovenkant van het depot ligt de grens van 50 °C. In de onderste 0,25 meter van het depot (vanaf 2,15 meter beneden de bovenkant) en tevens het natste gedeelte, is de minimale vereiste temperatuur van 40 °C net bereikt (range: 39,2-46,6). Nabij de injectiefilters zal de temperatuur veel hoger zijn geweest;
- Thermische energie is in overmaat toegevoerd. Het is niet onderzocht hoe groot de overmaat is geweest en in hoeverre een kortere verwarmingstijd of een lagere temperatuur ook voldoende zou zijn geweest. Dergelijke optimalisaties zijn onderwerp voor een vervolgonderzoek;

- 
- Het elektriciteitsverbruik van de heaters wordt globaal geschat op 20.000 tot 40.000 kWh. Dit is inclusief het gebruik tijdens de opstartfase die later door de weersomstandigheden moest worden stilgelegd. Het energieverbruik van de ventilator en randapparatuur is verwaarloosbaar ten opzichte van het verbruik van de heaters en is niet meegenomen in de schatting;
  - De bodemkwaliteitskeuring na afloop van de behandeling toont aan dat de partij voldoet aan de kwaliteitsklasse Achtergrondwaarde en vrij kan worden toegepast.

### **Overige conclusies m.b.t. de effectiviteit van de thermische behandeling**

- Het nemen van grondmonsters met behulp van een grondboor is na een warmtebehandeling praktisch lastig uitvoerbaar vanwege de (te) droge grond. De boringen leverde onvoldoende materiaal op en de boordiepte was beperkt (alleen 0-50 cm);
- Wat opvalt is dat bij de nulmeting, voorafgaande aan de thermische behandelingen, maar 10% van de uitgezeefde wortelstokfragmenten vitaal was. De voorgeschiedenis van de groeiplaats biedt geen aanknopingspunten voor een verklaring waarom slechts zo'n relatief klein deel van de wortelstokken vitaal is. De groeiplaats van de duizendknoop is alleen enkele keren gemaaid;
- Na behandeling van een vak zijn er geen vitale wortelstokfragmenten in de grondmonsters aangetroffen;
- De schouwrondes van eind augustus tot half november laten geen (her)groei van duizendknoop uit wortelstokfragmenten zien;
- Ook de onderste laag in het depot is na behandeling vrij van duizendknoop ondanks dat de temperatuur daar niet hoger dan circa 40 °C is geweest en er na afloop van de warmtebehandelingen geen grondmonsters uit die laag konden worden genomen ter verificatie;
- Door de verhoogde temperatuur tijdens de behandelingen is het aannemelijk dat al het bodemleven is gedood. Echter, circa twee weken na het uitspreiden van de behandelde grond kwamen de eerste kruiden (niet duizendknoop) en grassen weer op. Waarschijnlijk hebben de zaden de hitte behandeling overleefd, maar het is niet volledig uit te sluiten dat een deel van de zaden is ingewaaid vanuit de directe omgeving;
- Aan het einde van de schouwperiode zijn 34 verschillende soorten kruiden en grassen geïdentificeerd. Meest voorkomende soorten op de behandelde grond waren: Teunisbloem (*Oenothera x fallax*), Bezemkruiskruid (*Senecio inaequidens*), Smalle en Vergeten Wikke (*Vicia sativa*) en Fioringras (*Agrostis stolonifera*). Het betreft soorten die algemeen voorkomen in het Havengebied. In hoeverre het overige bodemleven zich heeft hersteld is niet onderzocht.

### **Aanbevelingen**

- Nader onderzoek naar optimalisatie van het benodigde temperatuurregime is gewenst. Mogelijk zijn kortere perioden van verwarmen ook al voldoende;
- Verbetering van de methode voor het nemen van grondmonsters zodat ook in drogere grond monsters kunnen worden verzameld;
- Ontwikkelen van een standaard protocol voor het bepalen van het aantal en de posities voor het nemen van grondmonsters zodat de resultaten een representatief beeld geven voor het totale grondvolume;
- Beter inzicht verkrijgen in het totale energieverbruik en kosten;
- Mogelijkheden onderzoeken om de methode *in situ* toe te passen, daarmee vervalt het transport van besmette grond naar een depot en wordt het risico op verdere verspreiding kleiner;
- Nader onderzoek naar het effect en herstelvermogen van de biologische bodemkwaliteit (bodemleven) na een thermische behandeling.

### **Tenslotte**

De pilot voor het thermisch behandelen van met duizendknoopresten besmette grond (*ex situ*) heeft kunnen plaatsvinden dankzij de medewerking en medefinanciering door het Havenbedrijf Rotterdam en de firma Iv-Infra b.v. Zij hebben ons geholpen bij o.a. de levering van de grond, inrichting van het depot, vergunningen etc. en door de constructieve inhoudelijke discussies die we lopende het project hebben gehad. Dank ook aan het Bureau Stadsnatuur dat heeft geholpen met de inventarisatie van de kruiden en grassen die op de behandelde grond weer opkwamen.

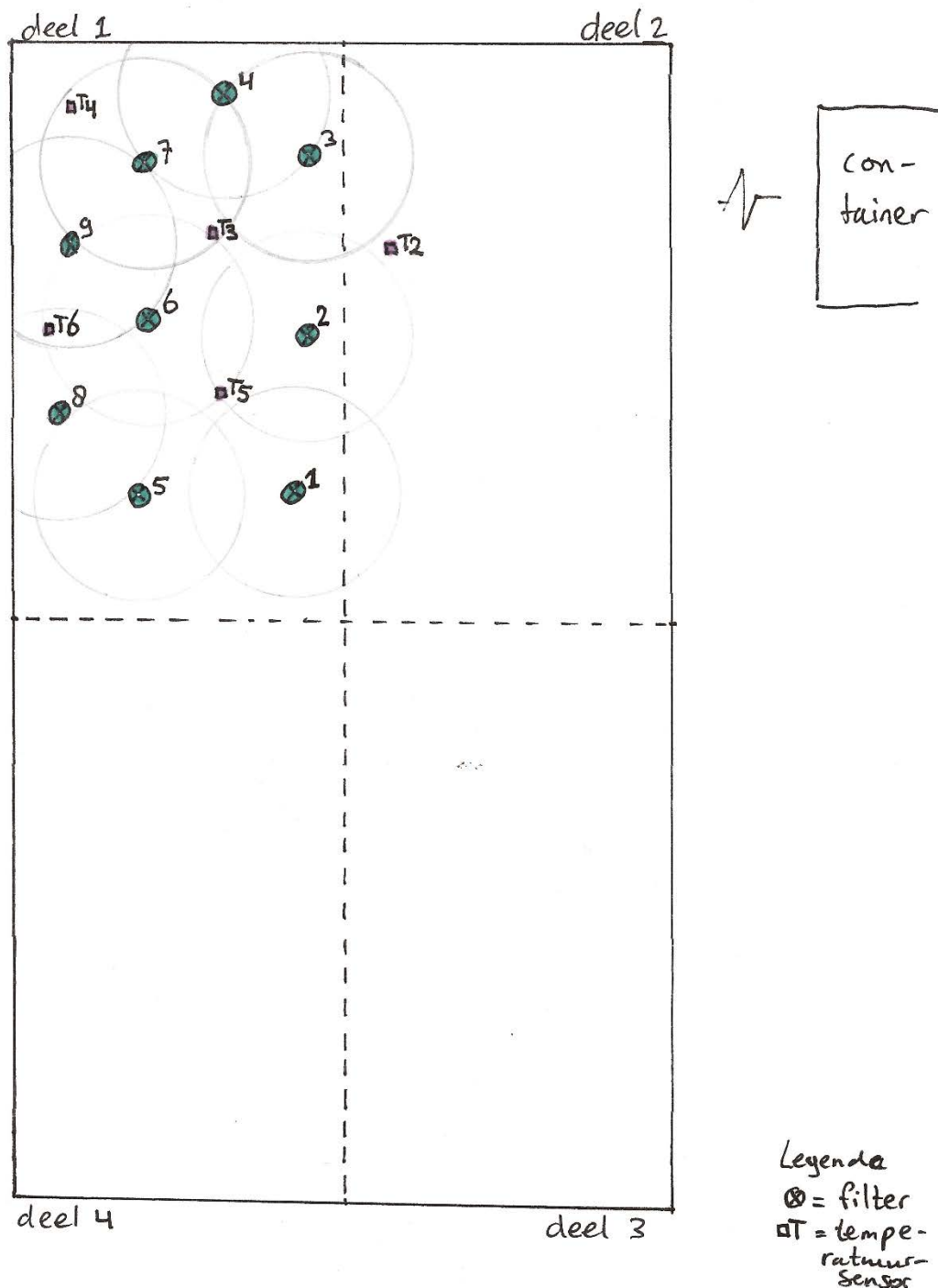
---

# Literatuur

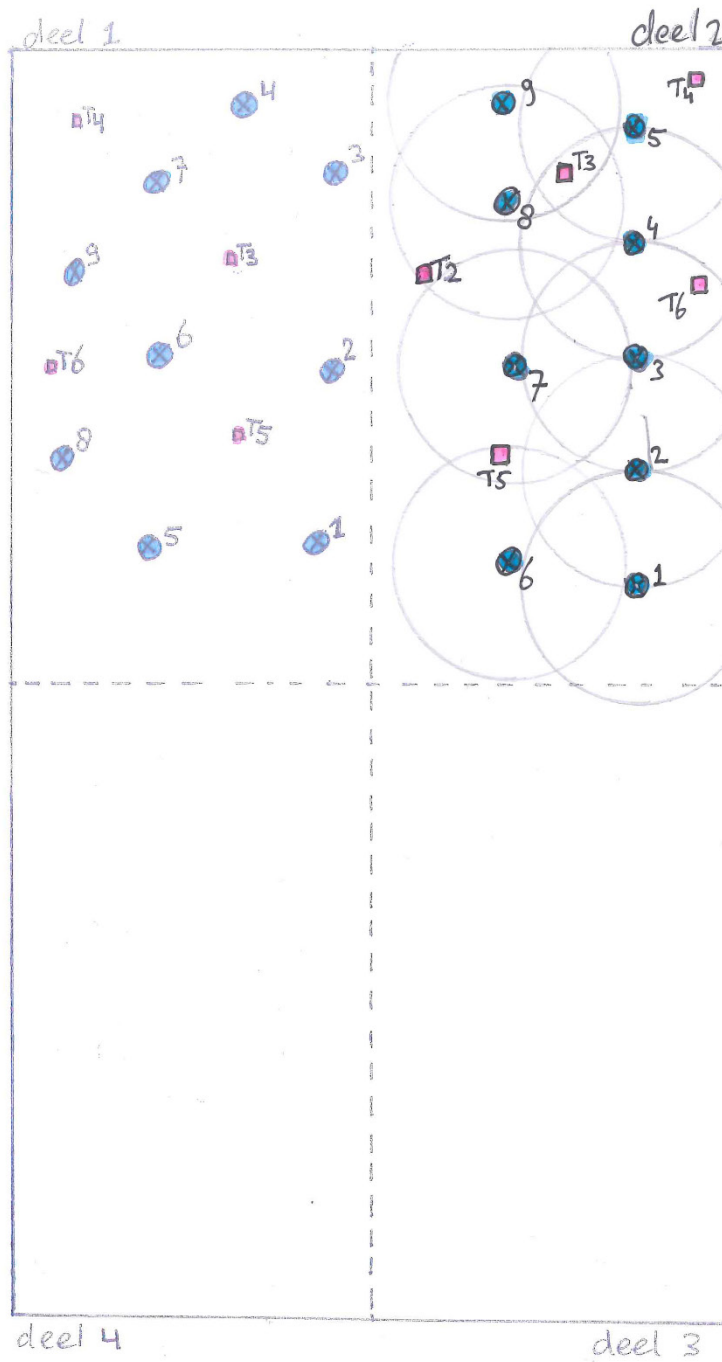
- BVOR, 2017. Innovatief aanbesteden van groenafval en gras Een handreiking voor aanbestedende diensten. Branche Vereniging Organische Reststoffen (BVOR). [www.bvor.nl](http://www.bvor.nl).
- Hulme, P.E.; Bacher, S.; Kenis, M.; Klotz, S.; Kuhn, I.; Minchin, D.; Nentwig, W.; Olenin, S.; Panov, V.; Pergl, J.; Pysek, P.; Roques, A.; Sol, D.; Solarz, W.; Vila, M. 2008 Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology* 45 (2): 403-414.
- Hulme, P.E. 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology* 46 (1): 10-18.
- IDDS, 2018. RAPPORT betreffende een milieukundig bodemonderzoek d'Arcyweg te Rotterdam. IDDS, 2 augustus 2018, kenmerk 1807L703/DBI/rap1.
- Leferink, Jenneke, Johan van Valkenburg, Joyce Penninkhof en Chris van Dijk, 2020. Zaden bij Japanse duizendknoop! Kunnen ze kiemen en zich vestigen? *Nature Today*, 2 juli 2020.
- Macfarlane, J. 2011. Development of strategies for the control and eradication of Japanese knotweed. Thesis University of Exeter, UK.
- Oldenburger, Jan, Joyce Penninkhof, Casper de Groot en Fons Voncken, 2017. Praktijkproef bestrijding duizendknoop. Resultaten en kostenefficiëntie van zeven bestrijdingsmethoden voor duizendknoop en varianten daarop. Stichting Probos, Wageningen.
- Xian, C., Bardos, P. & S. Robinson, 2011. Can composting kill Japanese Knotweed? University of Reading.

# Bijlage 1 Tekeningen situering filters en sensoren

JDK aanpassing 8-4-2020





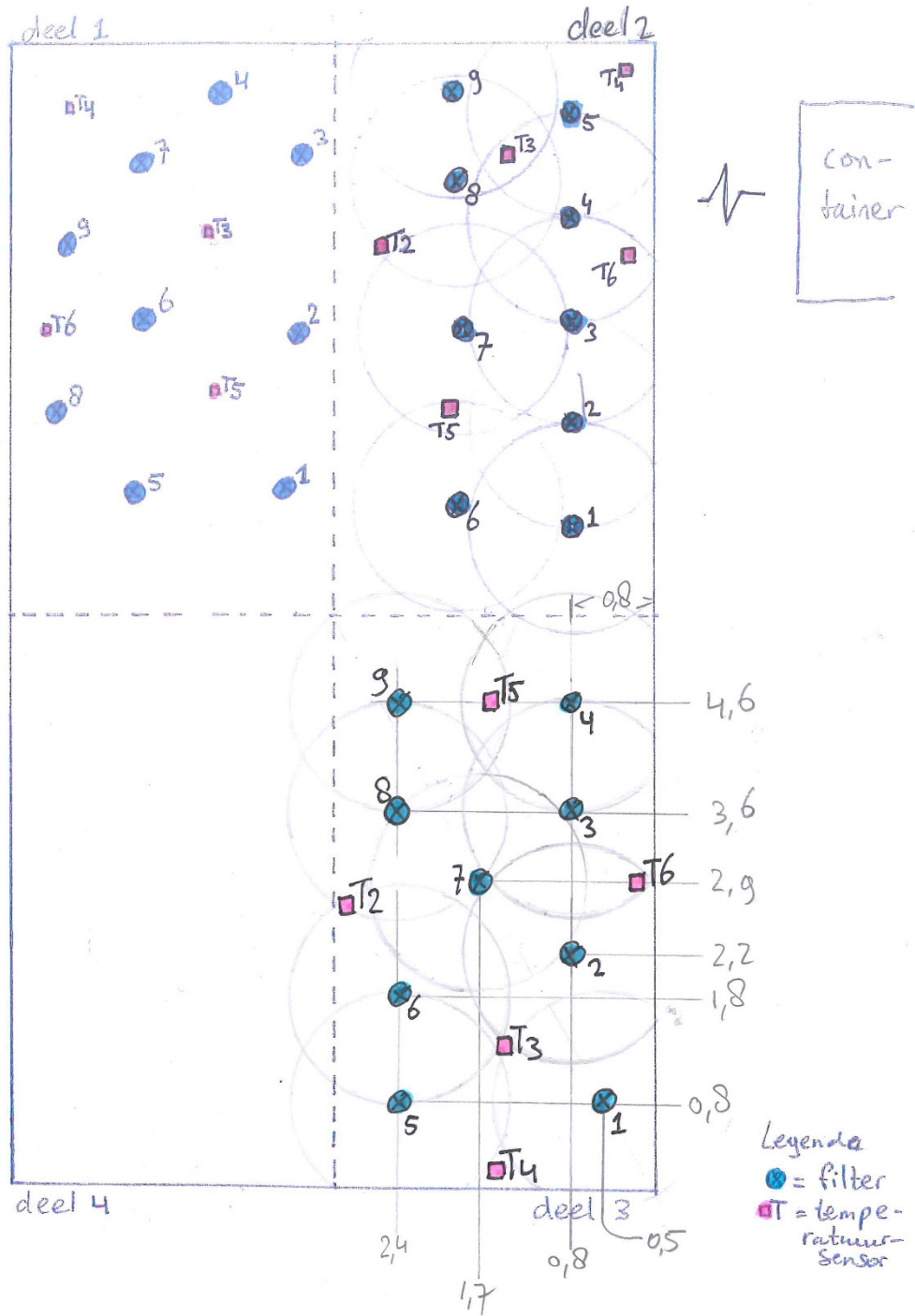


Con-  
tainer

Legenda  
 ⊗ = filter  
 □ = temper-  
 atuur-  
 sensor

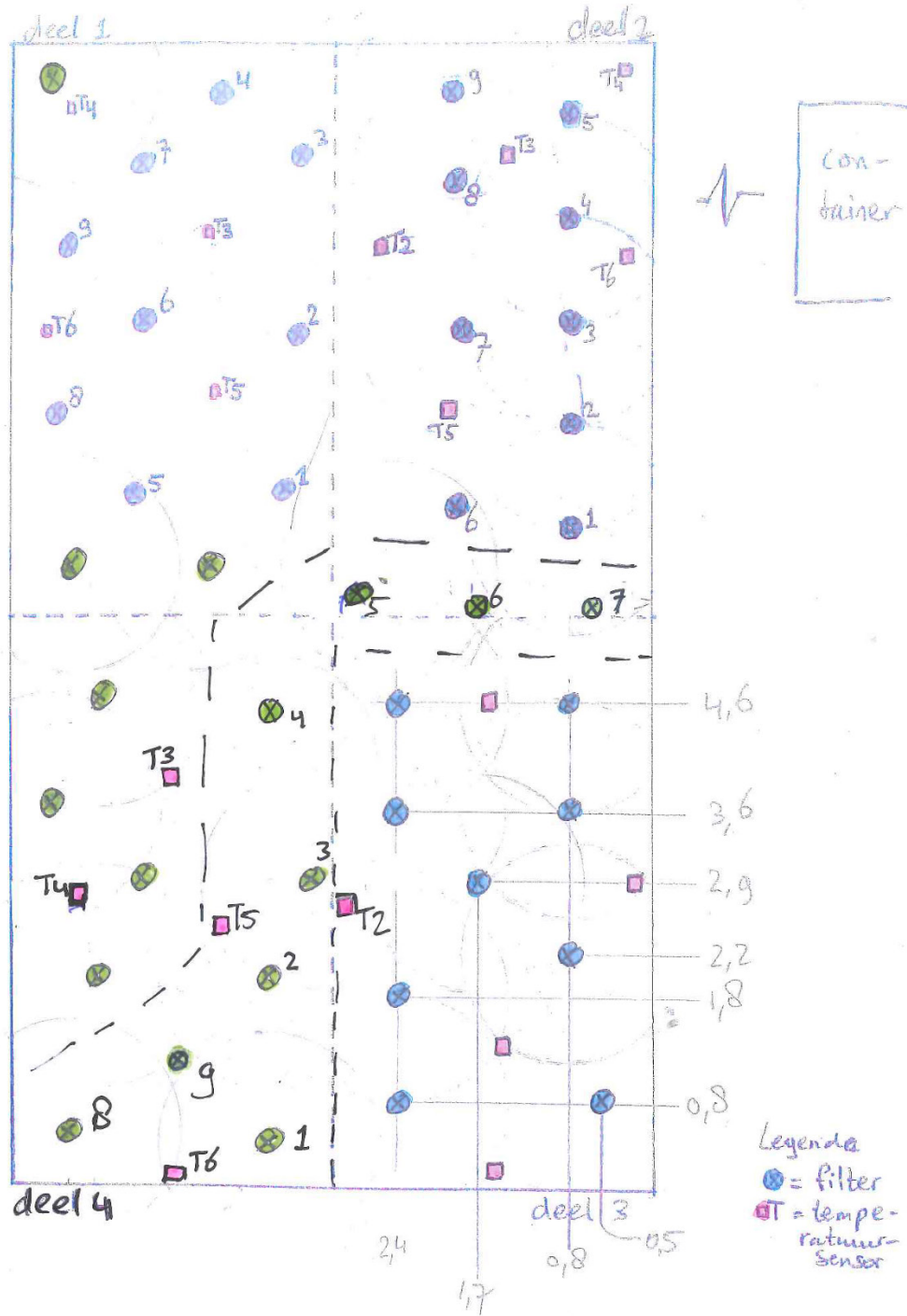
# JOK boorplan deel 3

1:50



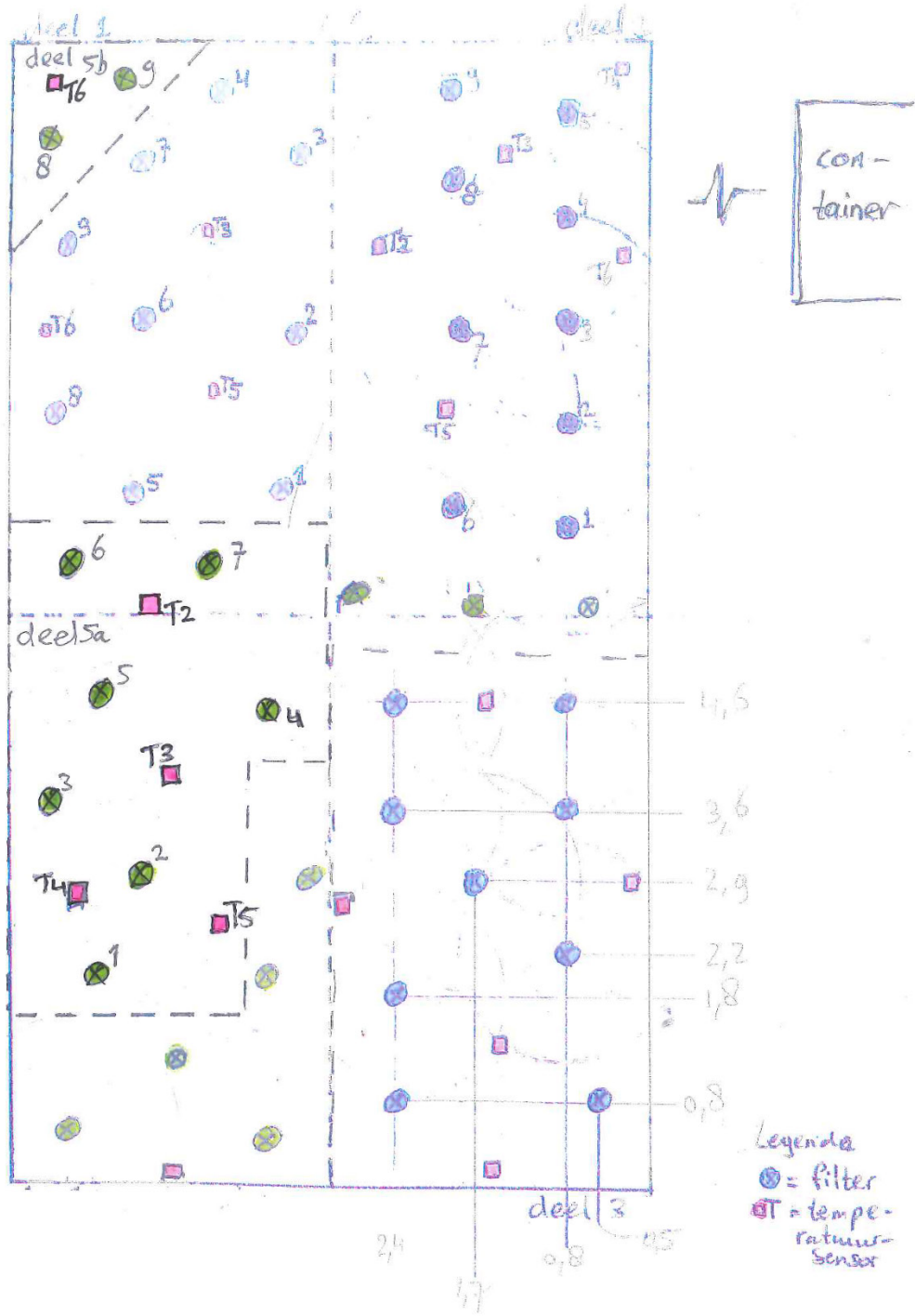
# JDK boorplan deel 4

1:50



# J.Dke boorplan deel 5

1:50



---

## Bijlage 2 Grafieken temperatuurverloop

De legenda in de grafieken van Bijlage 2 na 30 april zijn anders dan daarvoor. Omdat het systeem niet toeliet dat er komma's werden ingevoerd, zijn deze weggelaten. Op een paar uitzonderingen na stonden de temperatuursensoren op de volgende dieptes:

0,1 m-mv (01m)

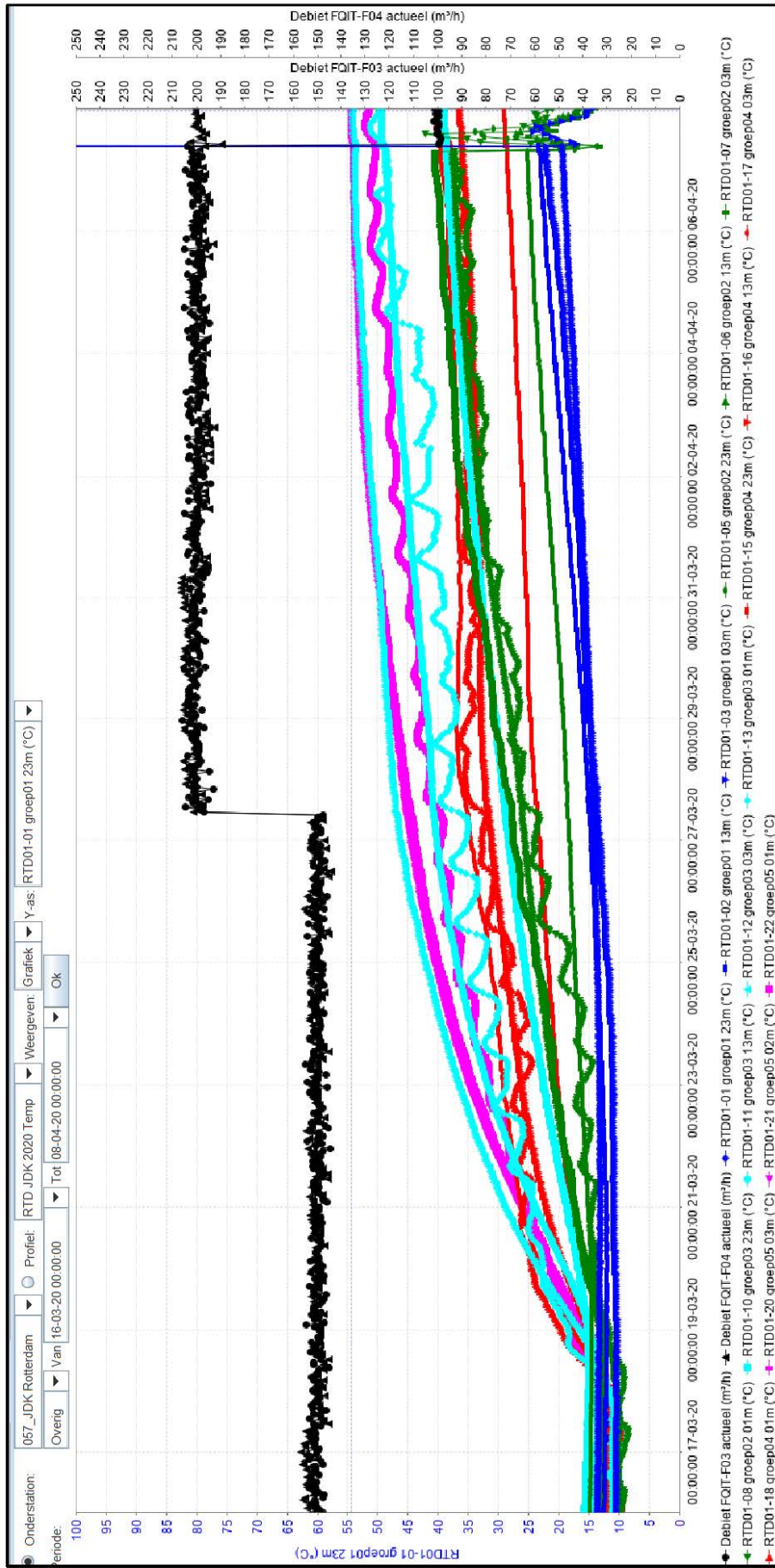
0,3 m-mv (03m)

1,3 m-mv (13m)

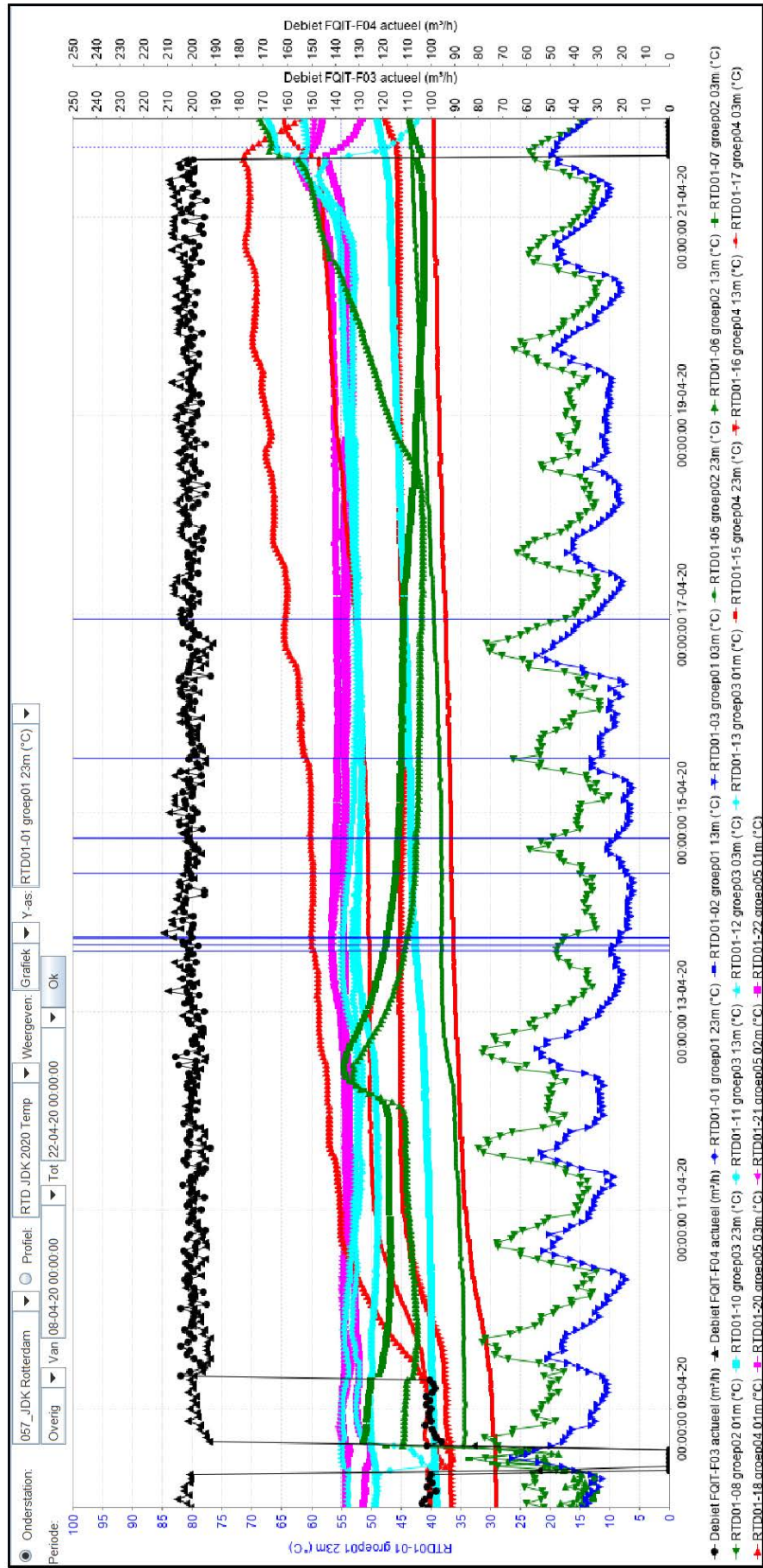
2,3 m-mv (23m)

Bij de cijfers achter "groep" geeft het eerste cijfer het nummer van de locatie (T) aan en het tweede cijfer het nummer van de sensor van ondiep naar diep bij die locatie. Bijvoorbeeld groep 23 13m betekent locatie T2 (2), de derde sensor (3) van boven en diepte 1,3 meter (13m) onder de bovenkant van het depot.

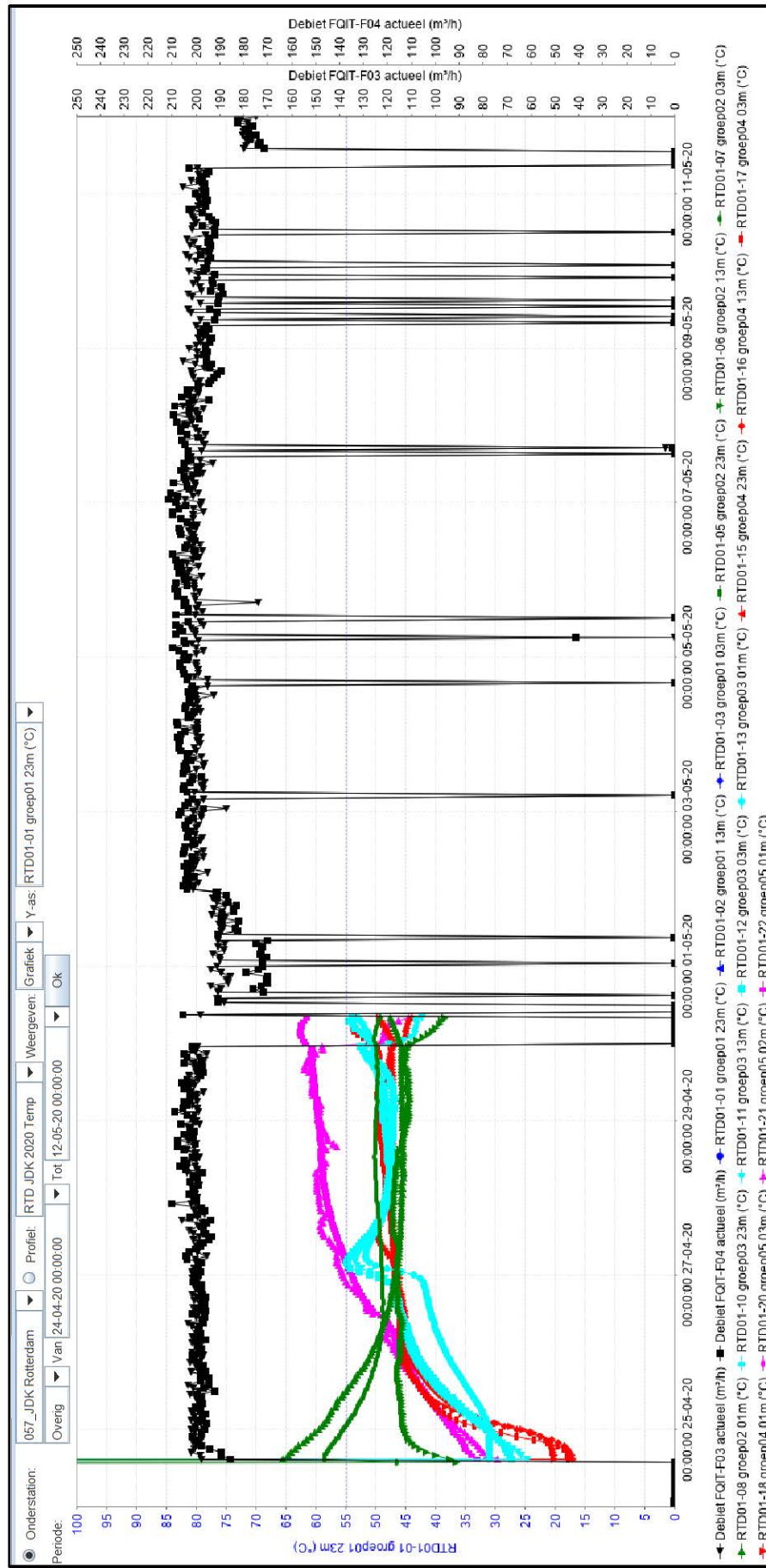
### Opwarming periode 17 maart – 7 april (deel 1a)



### Opwarming periode 17 maart – 7 april (deel 1b)

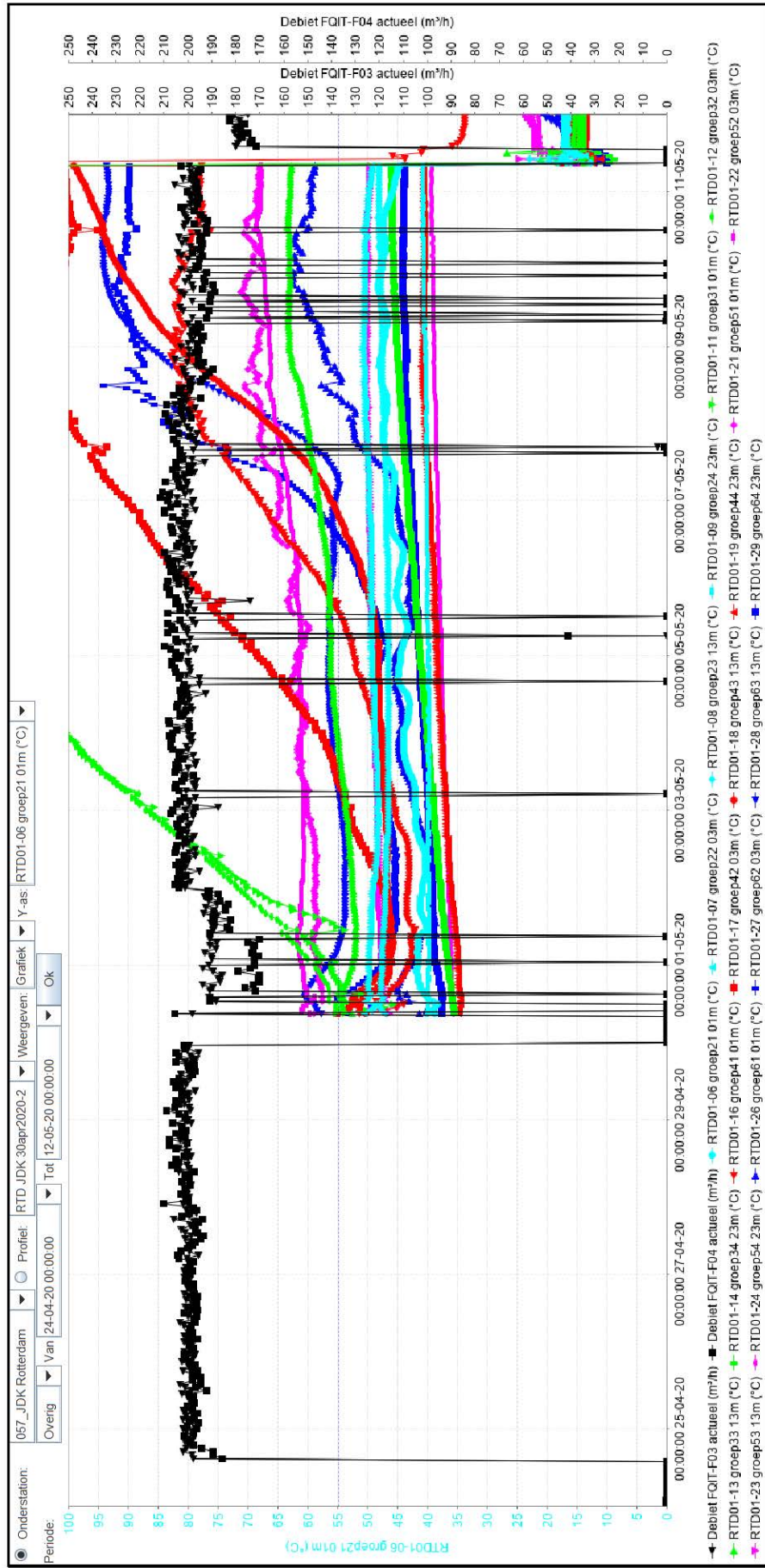


Opwarming periode 24 april – 11 mei (deel 2) (voór omzetting sensoren op 30 april)

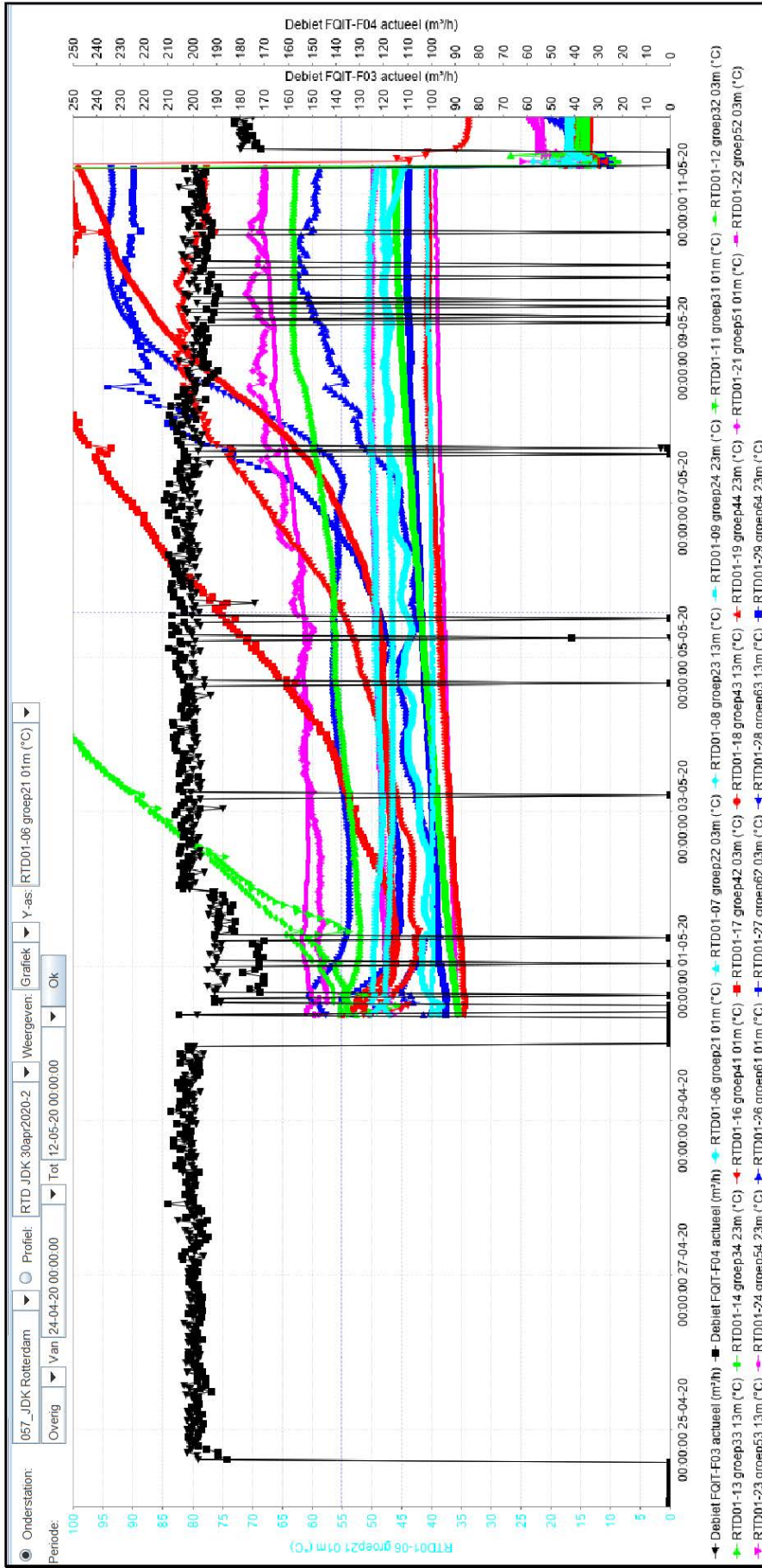




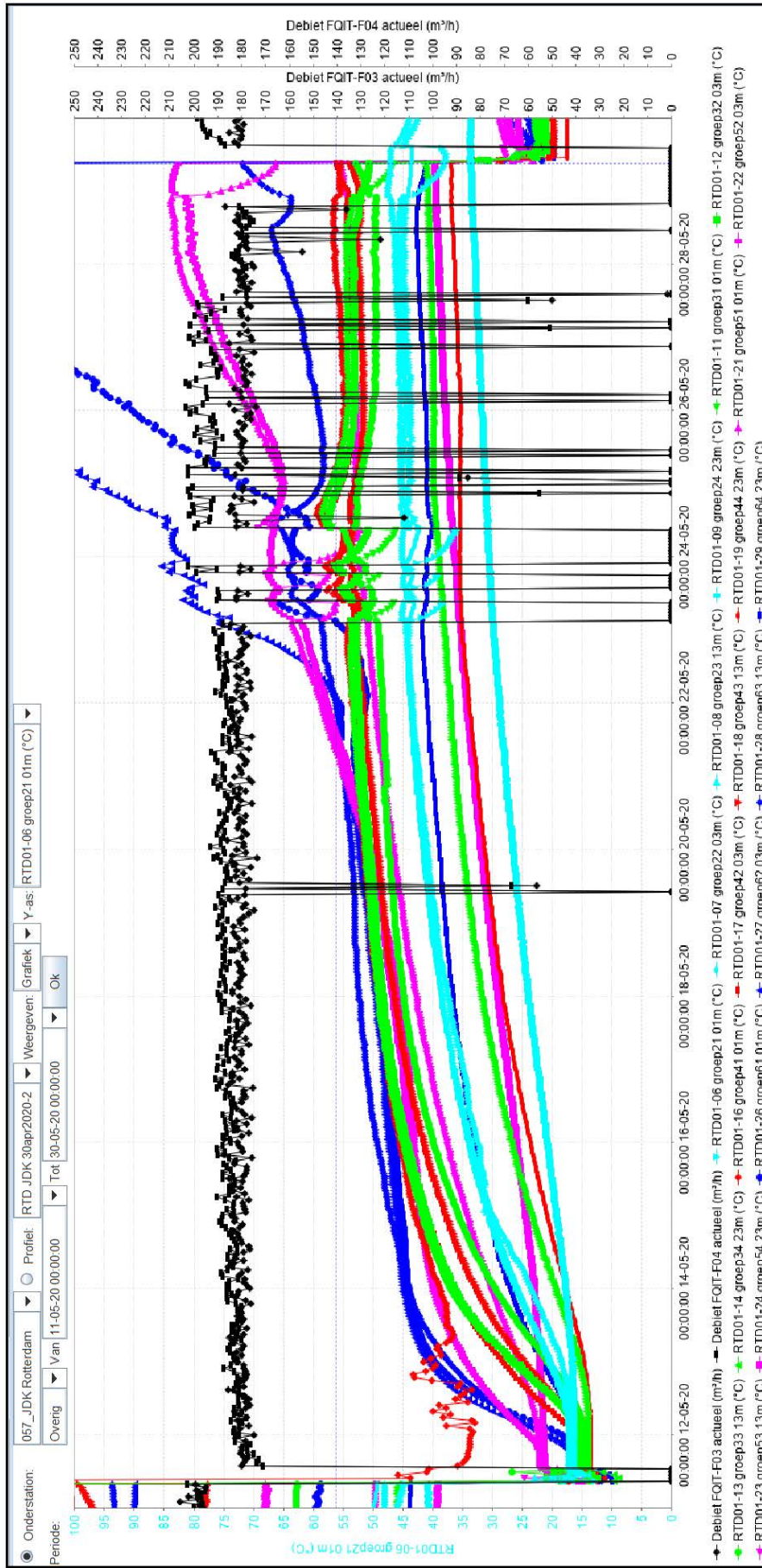
### Opwarming periode 24 april – 11 mei (deel 2) (ná omzetting sensoren op 30 april)



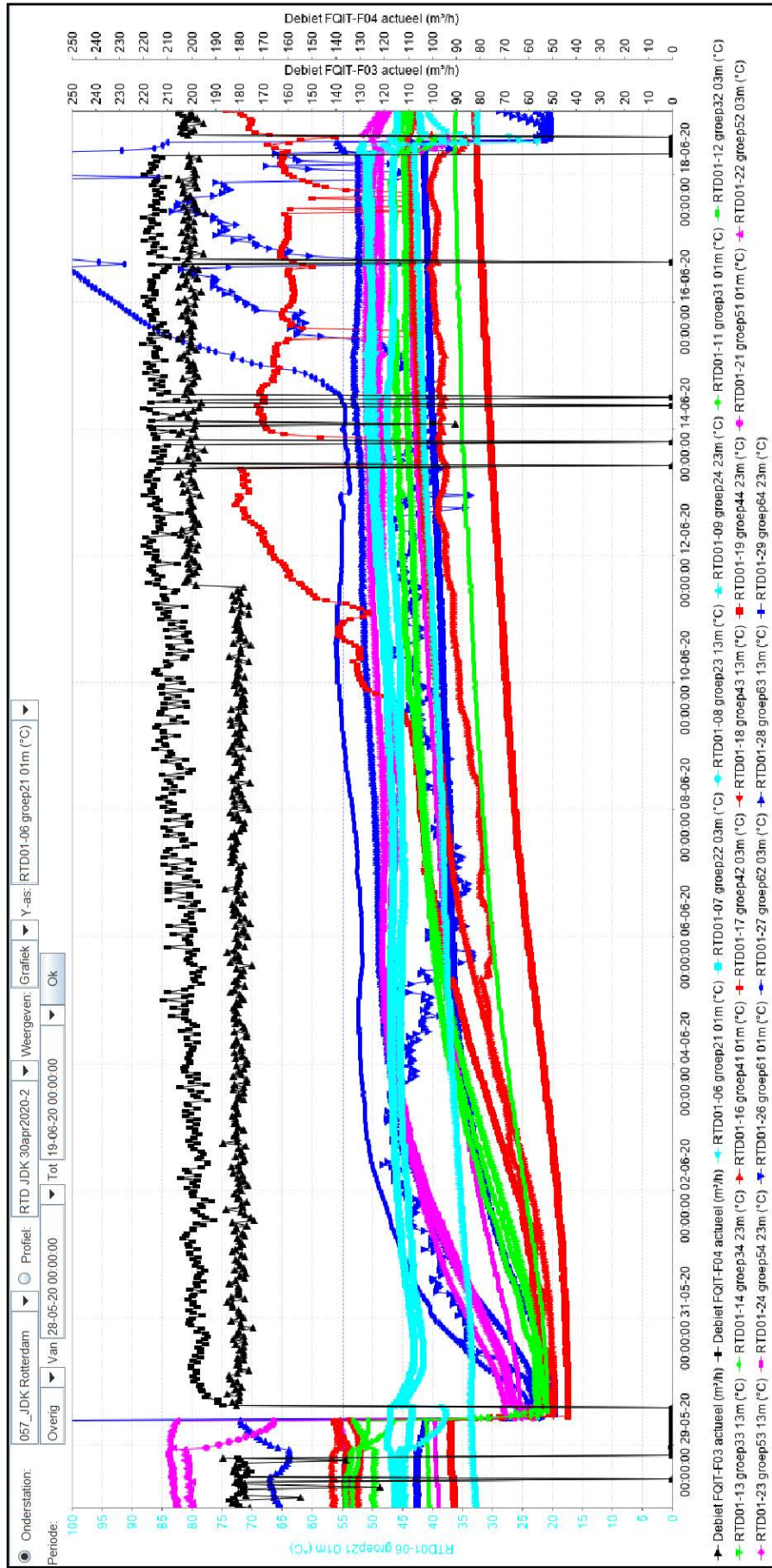
### Opwarming periode 24 april – 11 mei (deel 2) (omzetting sensoren op 30 april)



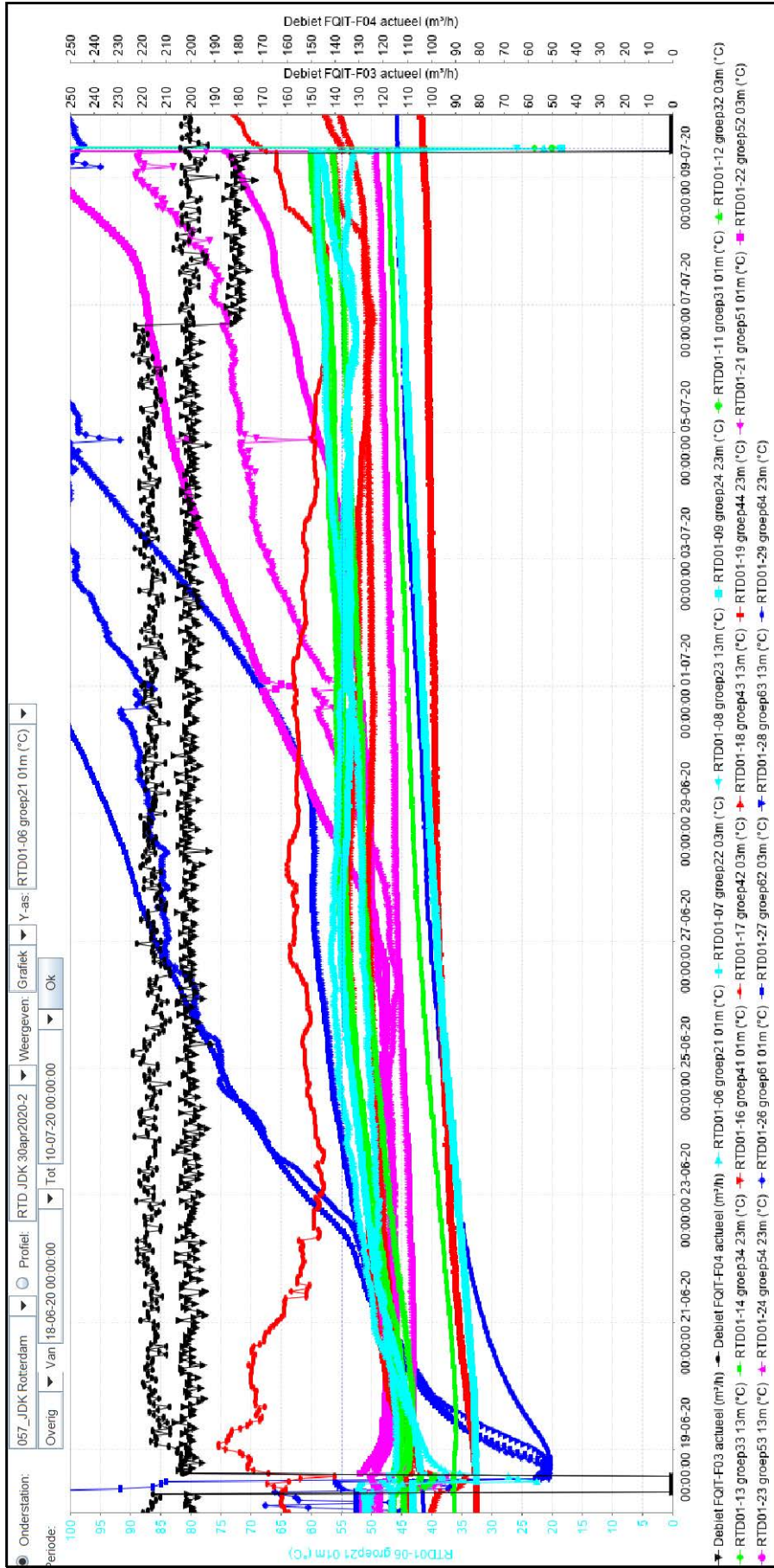
### Opwarming deel 3, periode 11 mei – 29 mei



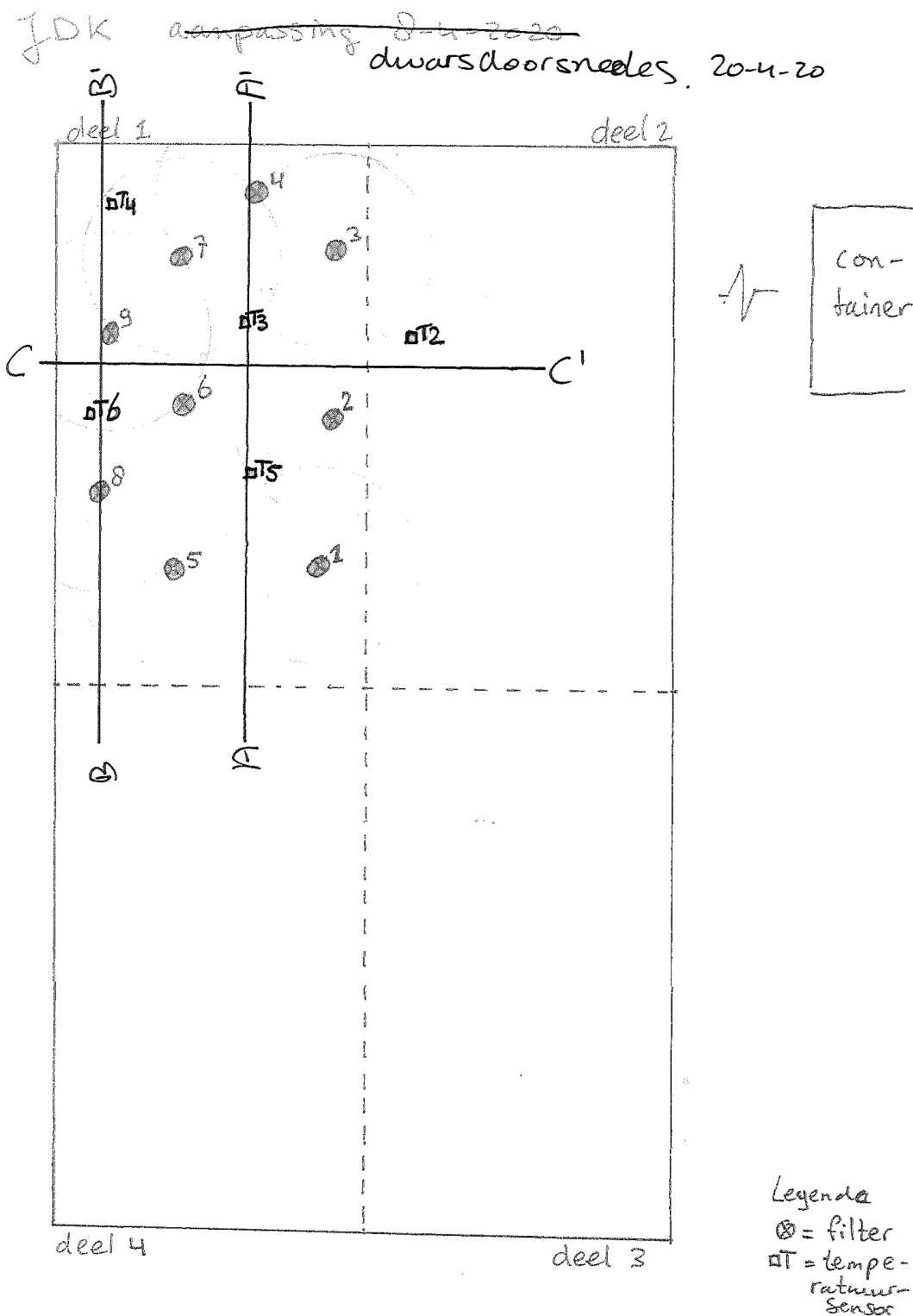
### Opwarming deel 4, periode 29 mei – 18 juni



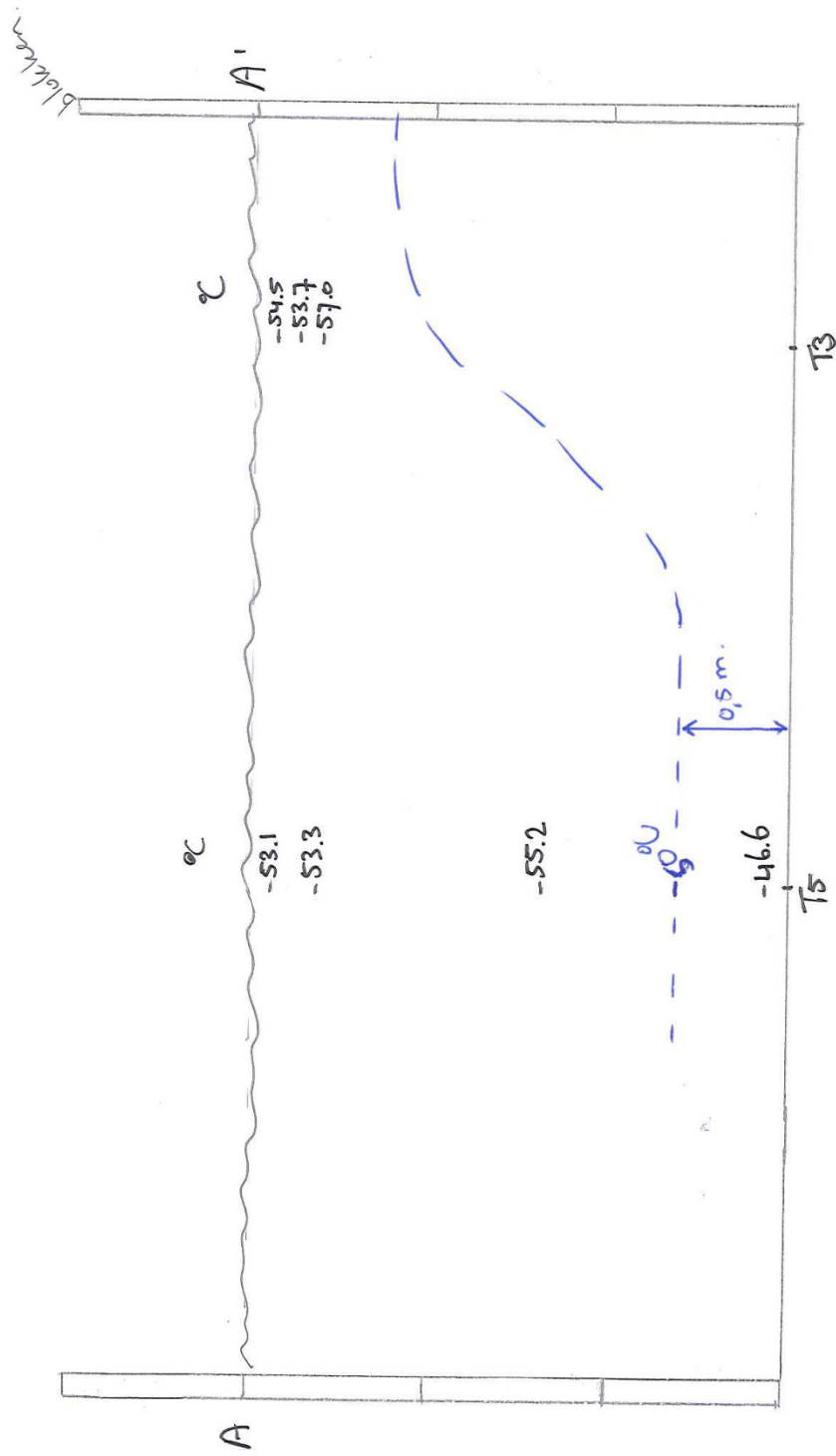
# Opwarming deel 5, periode 18 juni – 9 juli



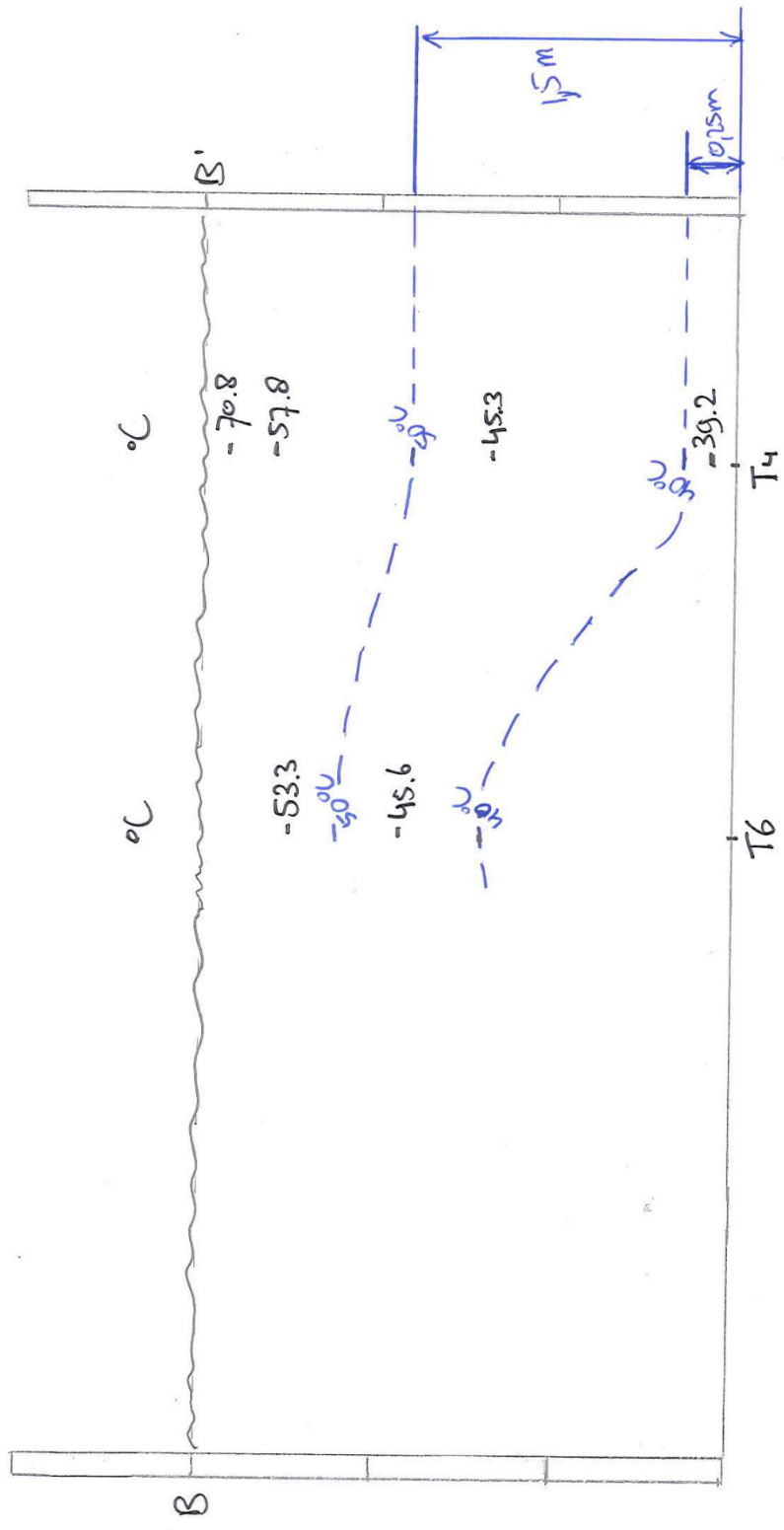
# Bijlage 3 Dwarsdoorsnede met temperaturen



JDK R'dam. Dwars doorsnede depot. deel 1 A-A' 1:25  
 20-4-20

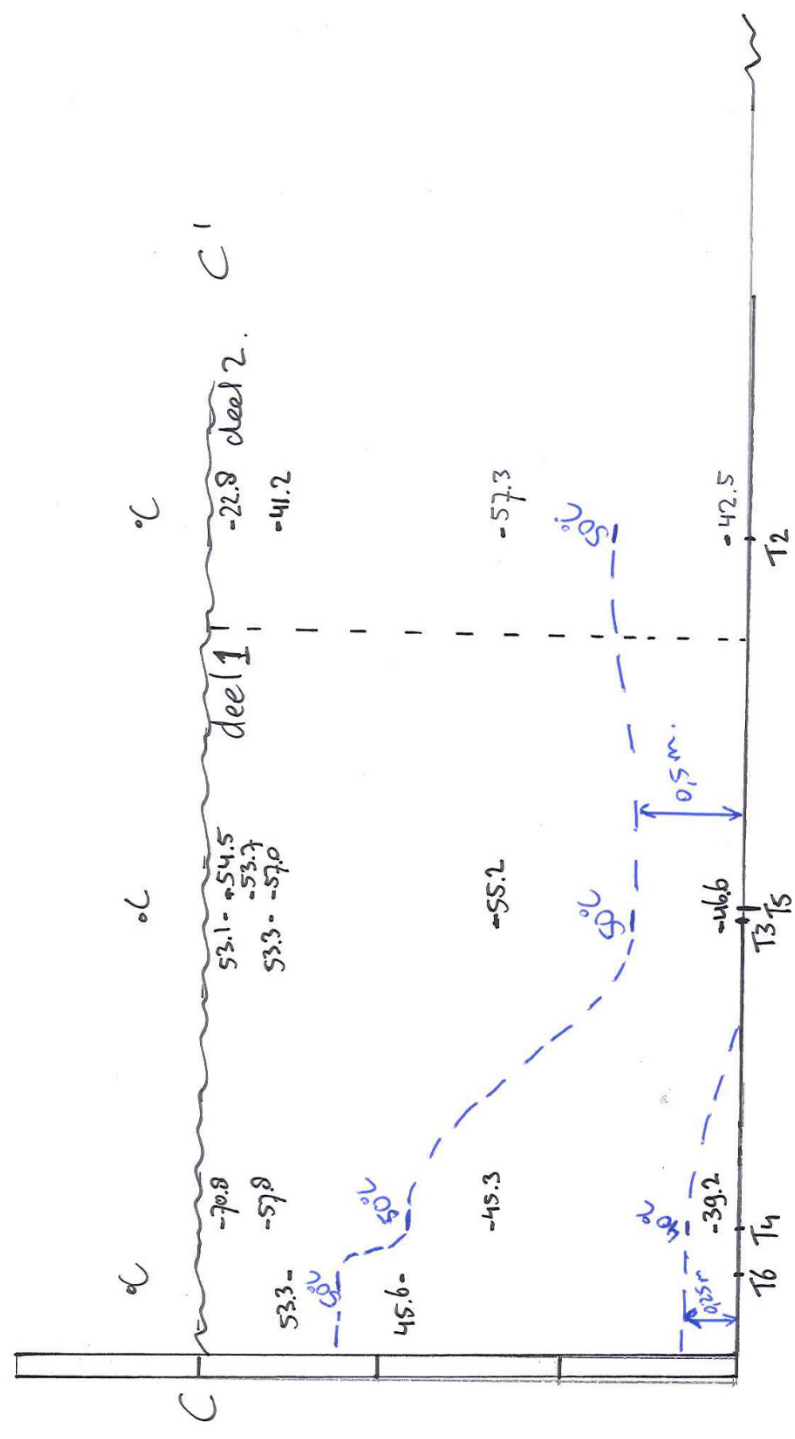


JDK R'dam. Dwaars doorsnede depot. deel 1 B-B' 1:25  
 20-11-20





JDK R'dam. Dwarsdoorsnede depot. deel 1 C-C' 1:25  
 20-4-20.



# Bijlage 4 Soortenlijst

Soorten aangetroffen op uitgespreide grond uit verhittingsproef Europoort

Datum: 15/10/2020 (onbegaanbaar) en 18/11/2020 (helemaal doorgelopen)

NI.	Wet.	Volgorde abund.
<b>Voornaamste soorten</b>		
Fioringras	<i>Agrostis stolonifera</i>	1
Teunisbloem	<i>Oenothera x fallax</i> is in deze omgeving verreweg de meestvoorkomende soort.	1
Bezemkruiskruid	<i>Senecio inaequidens</i>	1
Smalle Wikke + Vergeten Wikke	<i>Vicia sativa</i> S.L.	1
<b>Overige soorten</b>		
Duizendblad	<i>Achillea millefolium</i>	2
Rood Guichelheil	<i>Anagallis arvensis</i> subsp. <i>arvensis</i>	2
Zegge	<i>Carex spec.</i> (waarschijnlijk <i>C. hirta</i> )	2
Melganzenvoet	<i>Chenopodium album</i>	2
Grote Zandkool	<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	2
Basterdwederik	<i>Epilobium spec.</i> (waarschijnlijk <i>E. hirsutum</i> )	2
Canadese Fijnstraal	<i>Erigeron canadensis</i>	2
Grijze Mosterd	<i>Hirschfeldia incana</i>	2
Gestreepte Witbol	<i>Holcus lanatus</i>	2
Gewoon Biggenkruid	<i>Hypochaeris radicata</i>	2
Jakobskruiskruid S.I.	<i>Jacobaea vulgaris</i>	2
Kompassla	<i>Lactuca serriola</i>	2
Vergeet-mij-nietje	<i>Myosotis spec.</i> (waarschijnlijk <i>M. arvensis</i> )	2
Hertshoornweegbree	<i>Plantago coronopus</i>	2
Smalle Weegbree	<i>Plantago lanceolata</i>	2
Kruipende Boterbloem	<i>Ranunculus repens</i>	2
Avondkoekoeksbloem	<i>Silene latifolia</i> subsp. <i>alba</i>	2
Zwarte Nachtschade + Beklierde Nachtschade	<i>Solanum nigrum</i> S.L.	2
Gekroesde Melkdistel	<i>Sonchus asper</i>	2
Gewone Melkdistel	<i>Sonchus oleraceus</i>	2
Gewone Smeerwortel	<i>Symphytum officinale</i>	2
Boerenwormkruid	<i>Tanacetum vulgare</i>	2
Reukeloze Kamille	<i>Tripleurospermum maritimum</i>	2
Grote Brandnetel	<i>Urtica dioica</i>	2
<b>Incidenteel (1 of 2 ex.)</b>		
Gewone Duivenkervel	<i>Fumaria officinalis</i>	3
Zachte Ooievaarsbek	<i>Geranium molle</i>	3
Paarse Dovenetel	<i>Lamium purpureum</i>	3
Blaartrekkende Boterbloem	<i>Ranunculus sceleratus</i>	3
Krulzuring	<i>Rumex crispus</i>	3
Klein Kruiskruid	<i>Senecio vulgaris</i>	3



---

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

Rapport WPR-1064

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.





To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Correspondentie adres voor dit rapport:  
Postbus 16  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

Rapport WPR-1064

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

