

# Bestrijding Aziatische duizendknoop door bevriezing van de bodem

Effectiviteit van een *in situ* behandeling

C.J. van Dijk en W. de Visser



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



# Bestrijding Aziatische duizendknoop door bevroering van de bodem

Effectiviteit van een *in situ* behandeling

C.J. van Dijk en W. de Visser

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

Wageningen, februari 2022

---

Rapport WPR-1130



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

---

C.J. van Dijk en W. de Visser, 2022. *Bestrijding Aziatische duizendknoop door bevrozing van de bodem; Effectiviteit van een in situ behandeling*. Wageningen Research, Rapport WPR-1130. 28 blz.; 11 fig.; 8 tab.; 5 ref.

Trefwoorden: Aziatische duizendknoop, Fallopia bohemica, wortelstokken, grond, bevroren, *in situ*

© 2022 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-1130

Foto omslag: Boheemse duizendknoop (Wageningen UR)

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Aanleiding	9
1.2 Probleemstelling	10
1.3 Projectdoelstelling	11
<b>2 Opzet en uitvoering</b>	<b>12</b>
2.1 Thermische bestrijding duizendknoop	12
2.2 Groeiplaats Aziatische duizendknoop	12
2.3 Thermische behandeling	13
2.3.1 Opzet thermische installatie	13
2.3.2 Configuratie temperatuursensoren	13
2.4 Effectiviteitsbepalingen	13
2.4.1 Bepaling wortelzone	13
2.4.2 Monsternames en analyses	13
2.4.3 Effectiviteitsmonitoring lange termijn	15
<b>3 Resultaten</b>	<b>16</b>
3.1 Voorbereidende werkzaamheden	16
3.2 Verloop koudebehandeling	17
3.3 Effectiviteit koudebehandeling	20
3.3.1 Monsternames	20
3.3.2 Vitaliteit wortelstokken	20
3.3.3 Hergroei	21
3.3.4 Bodemleven en organisch stofgehalte	23
3.3.5 Kiemtest	24
<b>4 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>25</b>
<b>Literatuur</b>	<b>27</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. Een invasieve exoot die door terreinbeheerders als belangrijkste plaagsoort wordt aangemerkt is Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*). Naast de Japanse duizendknoop 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 de verzamelnaam Aziatische duizendknopen.

Aziatische duizendknopen zijn inheems in Japan, China, Taiwan en Korea. Aziatische duizendknopen zijn vaste planten 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 TIBACH heeft een methodiek ontwikkeld voor het bestrijden van Aziatische duizendknoop doormiddel van een *in situ* koude-behandeling. In deze pilot is onderzocht deze methodiek voldoende effectief is. De test is uitgevoerd op een groeiplaats van duizendknoop in Gendringen met een oppervlak van circa 45 m<sup>2</sup>. Het betrof een groeikern met dikke 'knoesten' waaruit dicht opeenstaande stengels met een diameter van 2-3 cm en een hoogte van ca. 3-4 m groeien. Meer naar de randen van de groeiplaats hadden de stengels een kleinere diameter (0.5-1 cm) en waren minder hoog (ca. 2 m).

De bodem bestond uit een toplaag van 10-15 cm met daaronder een vrij harde laag rivierklei tot op 120 cm -mv. Daaronder begon een laag van nat zand. Wortelstokken van duizendknoop zijn aangetroffen in de toplaag en de laag met rivierklei tot aan het grensvlak met het natte zand.

In juni 2021 is de koude-behandeling uitgevoerd op een deel van de groeiplaats. De vrieslansen en de isolerende overkapping zijn zodanig geplaatst dat de kern van de groeiplaats binnen het behandelde oppervlak viel. Voor het plaatsen van de installatie zijn de bovengrondse delen van de duizendknoop afgemaaid met een bosmaaier. De afgemaaide delen zijn tijdelijk opgeslagen en later onder de overkapping mee-behandeld. Het deel van de groeiplaats buiten de overkapping is niet behandeld. In de periode juli-november 2021, na afloop van de koude-behandeling zijn op verschillende tijdstippen waarnemingen en analyses uitgevoerd

## Conclusies

- De pilot heeft aangetoond dat het technisch mogelijk is om grotere grondvolumes *in situ* af te koelen tot ca. -10 °C. Het duurde circa 21 dagen om de minimale temperatuur te bereiken;
- Het bevriezen van de bodem is een effectieve bestrijdingsmethode gebleken voor Aziatische duizendknopen.

## Overige conclusies en waarnemingen

- In de grondmonsters die na beëindiging van de behandeling en ontdooien van de grond zijn verzameld zijn geen vitale wortelstokfragmenten aangetroffen. Ook bij de visuele inspecties na afloop van de behandeling is geen hergroei van duizendknoop waargenomen. Dit betekent dat naast de in de grond aanwezige wortelstokken ook de 'knoesten' in de kern van de groeiplaats niet meer uitlopen na een koude behandeling;
- De groeiplaats was groter dan met de beschikbare installatie behandeld kom worden. Voor een optimaler resultaat had een iets groter oppervlak behandeld moeten worden. Voor de bestrijding van grotere



- 
- groeiplaatsen betekent dit dat er meer vrieslansen geplaatst moeten worden of dat de vrieslansen (meerdere keren) verplaatst moeten worden voor een stapsgewijze behandeling van de hele groeiplaats;
- Over het seizoen zijn er getalsmatig kleine verschillen in bodemleven gemeten tussen de behandelde en onbehandelde grondmonsters en over het seizoen. Kwalitatief gezien waren er vrijwel geen verschillen in bodemleven tussen behandelde en onbehandelde grondmonsters, alle uitkomsten werden geïnterpreteerd als 'gemiddeld'. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de koudebehandeling een destructief effect heeft gehad op het bodemleven;
  - De koudebehandeling heeft geen effect gehad op de fysische parameters van de bodem zoals pH en organisch stofgehalte;
  - Na beëindiging van de behandeling en ontdooien van de grond bleek de zaadbank van diverse kruiden en grassen in tact gebleven te zijn. Door het wegvallen van de duizendknoop kregen de zaden kans om te ontkiemen;
  - Voordeel van een *in-situ* behandeling is dat de grond niet wordt geroerd waardoor er (vrijwel) geen risico is op verdere verspreiding door met duizendknoop besmette grond.

### **Aanbevelingen**

- Het onderzoek is uitgevoerd in de zomerperiode bij buitentemperaturen overdag van boven de 20 °C. In verband met de vorsttolerantie van de wortelstokken is aan te bevelen nader onderzoek te doen naar de effectiviteit van de methode bij lage(re) buitentemperaturen gedurende de winterperiode. Hiermee kan een beter beeld worden verkregen van de periode van jaar waarin de methode effectief kan worden toegepast;
- Voor het versnellen van de cyclustijd is het aan te bevelen om de afstand tussen de lansen te verkleinen (halveren);
- Nader onderzoek doen naar efficiencyverbeteringen (rendement) van de koelmachine en lansen voor optimalisatie van het totale energieverbruik;
- Op basis van de verzamelde kengetallen een kostenberekening opstellen (€/m<sup>2</sup>).

De pilot naar bestrijding van Aziatische duizendknoop door *in situ* bevriezing van de bodem is uitgevoerd in samenwerking met de firma TIBACH op een locatie in Gendringen, Gelderland. De pilot heeft kunnen plaatsvinden dankzij de medewerking en financiering door de Gemeente Oude IJsselstreek.



---

# Summary

Having arrived in the country as a result of human activity, invasive exotic plant species do not grow naturally in the Netherlands. They are causing damage to the environment, economy, safety and health of people and animals. A good example considered a major pest today by terrain managers is Japanese knotweed (*Fallopia japonica*). In addition to this knotweed variety, giant or Sakhalin knotweed (*Fallopia sachalinensis*) and Bohemian knotweed (*Fallopia x bohemica*) are also found in the Netherlands. The Bohemian variety is a hybrid of *F. japonica* and *F. sachalinensis* which is increasingly found throughout the country. All three knotweed varieties are known under the collective name of Asian knotweed.

Asian knotweeds are indigenous to Japan, China, Taiwan and Korea. These perennial plants can reach up to three to four metres in height, with stems that grow from long, heavily-branched and fast-growing rhizomes underground. The presence of knotweed results in the loss of indigenous flora, causes damage to capital goods, is a threat to safety and leads to tens of millions of euros in extra costs each year. The transportation and (re)use of knotweed-infested soil brings with it a major risk of further spread.

TIBACH has developed a method to control Asian knotweed via *in situ* cold treatment. A pilot project at a 45 m<sup>2</sup> knotweed site in Gendringen, Gelderland (NL) studied whether the method is sufficiently effective. It involved a growth core with thick 'knots' from which closely knitted stems with a 2-3 cm diameter and a height of 3-4 metres were growing. Towards the edges of the growth site the stems had a smaller diameter (0.5-1 cm) and less height (approx. 2 m).

The soil consisted of a top layer of 10-15 cm covering a fairly solid river clay down to 120 cm -mv. Below this was a layer of wet sand. The knotweed rootstocks were found in the top layer and river clay down to where the wet sand began.

The cold treatment was performed on part of the growth site in June 2021. The freezing lances and insulated covering were placed in such a way that the core of the growth site fell inside the treatment area. To place the installation, the knotweed parts above ground were cut using a forest mower. These removed parts were temporarily stored and treated later under the covering. The part of the growth site outside of the covering was not treated. Various observations and analyses were made after the treatment at different times in the period from July to November 2021.

## Conclusions

- The pilot showed that it is technically feasible to cool larger soil volumes on site down to a temperature of around -10°C. It took approximately 21 days to reach the lowest temperature.
- Freezing the soil was shown to be an effective control measure for Asian knotweed.

## Other conclusions and observations

- After the treatment was completed and the soil had thawed, the soil samples contained no living rhizome fragments. Visual inspections after the treatment also showed no regrowth of the knotweed. This means that both the rhizomes present in the soil and the 'knots' in the core of the growth site did not sprout after the cold treatment.
- The growth site was larger than the available installation was able to treat and a slightly larger area would have had to be treated for a more optimal result. Controlling larger growth sites therefore requires the placement of more freezing lances or repositioning them several times over the entire growth site for a phased treatment.
- We measured small quantitative differences in the soil life between the treated and untreated soil samples and throughout the season. Qualitatively, there were hardly any differences in the soil life between both types of samples; all results were classified as 'average'. There were no indications that the cold treatment had a destructive effect on the soil life.
- The cold treatment had no effect on the physical parameters of the soil such as pH and organic matter.

- 
- After the treatment was completed and the soil thawed, the seedbank of various herbs and grasses was found intact. With the knotweed removed these seeds now have the opportunity to germinate.
  - The benefit of in-situ treatment is that the soil is not disturbed and there is little or no risk of further spread via knotweed-infested soil.

### **Recommendations**

- The research was performed in the summer during the day with outside temperatures of above 20°C. It is recommended to carry out further research into the effectiveness of the method at lower outside temperatures during the winter. This could provide better insight into the period of the year in which the method has (most) effect.
- To accelerate the cycle time, it is recommended to reduce the distances between the lances (by half).
- Further research should explore efficiency improvements (yield) to the cooling machine and lances in order to optimise total energy consumption.
- A cost calculation should be made (€/m<sup>2</sup>) based on the collected figures.

The pilot project on controlling Asian knotweed via the *in situ* freezing of soil was carried out together with TIBACH on a site in Gendringen, Gelderland (NL), facilitated by cooperation and financing from Oude IJsselstreek council.

---

# 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 Japanse duizendknoop. 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. 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.

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 (Figuur 1). Deze duizendknoopsoorten worden vaak aangeduid onder de verzamelnaam Aziatische duizendknopen. 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 bestaande bestrijdingsmethoden is er weinig verschil tussen de soorten.

De firma TIBACH B.V. heeft een bestrijdingsmethode ontwikkeld op basis van koude-behandeling waarmee de wortelstokken van Aziatische duizendknoop *in situ* kunnen worden bestreden. Voordeel van een *in situ* aanpak is dat er geen grondverzet nodig is. Hiermee wordt verdere verspreiding van de duizendknoop door wortelstokfragmenten voorkomen.



**Figuur 1** Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*) in bloei (augustus). Foto: Wageningen UR.

## 1.2 Probleemstelling

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 (Figuur 2). 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. 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.

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, heet water en elektriciteit zijn gericht op het regelmatig verwijderen van de bovengrondse delen van de plant. Deze methoden moeten vaak meerdere keren per seizoen worden toegepast en hebben, 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. Grootschalig afgraven van groeiplaatsen is een effectieve methode, maar het genereert een groot volume van met duizendknoop besmette grond en het risico op verdere verspreiding van de duizendknoop via machines en grondtransporten is groot. De besmette grond moet vervolgens ergens toepasbaar zijn of worden ontdaan van de duizendknoop resten. Storten of verbranden is weinig circulair en relatief duur is. Het toepassen van systemisch werkende onkruidbestrijdingsmiddelen (o.a. glyfosaat) is eveneens een effectieve methode (Oldenburger *et al.*, 2017). Het is 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.

Thermisch behandelen van grond bij relatief lage temperaturen (40-50 °C) met behulp van hete lucht injectie in de bodem is ook effectief. Deze techniek kan zowel *in situ* als in een depot worden toegepast.

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

Categorie	Methode	Beheersen	Bestrijden	Tijdsindicatie
<i>Mechanisch</i>	Maaien	X		Jaarlijks toepassen
	Uittrekken/uitsteken, jonge, kleine haarden		X	Meerjarig toepassen
	Uittrekken/uitsteken, oudere, grote haarden	X		Meerjarig toepassen
	Uitgraven onder sanerende omstandigheden		X	Direct resultaat
	Ontgraven, zeven en terugstorten		X	Direct resultaat, enkele seizoenen nazorg
<i>Thermisch</i>	Heet water (bovengronds)	X		Meerjarig toepassen
	Elektriciteit (aanstippen stengels)	X		Meerjarig toepassen
	Hete lucht bodem-injectie		X	Direct resultaat
	Ontgraven, verhitten en terugstorten		X	Direct resultaat
<i>Chemisch</i>	Glyfosaat (o.a. RoundUp), stengelinjectie		X	Eén of enkele keren toepassen
	Glyfosaat, bladbehandeling		X	Eén of enkele keren toepassen
	Glyfosaat, stobbenbehandeling		X	Eén of enkele keren toepassen
	Vetzuur+kiemremmer (o.a. Ultima)	X		Meerjarig toepassen
<i>Biologisch</i>	Japane bladvlo*	X		Eenmalig uitzetten
	Japane bladschimmel*	X		Nog niet bekend
Overige	Afdekken		X	Minimaal 4-5 jaar
	Begrazing (schapen of varkens)	X		Jaarlijks toepassen

\*Perspectiefvol maar nog in experimenteel stadium.



**Figuur 2** Wortelstokken van Aziatische duizendknoop met de karakteristieke oranje kleur.

### 1.3 Projectdoelstelling

Het doel van dit project is antwoord te geven op de vraag of *in situ* bevrozing van de bodem een effectieve bestrijdingsmethode is voor Aziatische duizendknoop. Uit de test moet blijken (1) of het technisch mogelijk is de grond 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 Opzet en uitvoering

### 2.1 Thermische bestrijding duizendknoop

Voor het thermisch bestrijden van duizendknoop is het van belang vooraf een inschatting te maken van het temperatuurregime (temperatuur en tijd) dat minimaal nodig is om wortelstokken van verschillende diktes te doden. Voor een koude behandeling is het tijdstip gedurende het seizoen bepalend. In aanloop naar de herfst als de daglengte korter wordt vind er in de plantencellen namelijk een geleidelijk fysiologisch proces plaats veroorzaakt door veranderde genexpressie met meerdere effecten, waaronder wijzigingen in membraansamenstelling en de accumulatie van opgeloste stoffen waardoor de vorst-tolerantie toeneemt (Gusta & Wisniewski, 2012; Kawamura & Uemura, 2014). Dit complexe, en nog niet volledig begrepen proces kan weken tot maanden duren waarna de planten voldoende zijn afgehard en een zekere mate van vorst kunnen verdragen. De vorstgevoeligheid is sterk soort afhankelijk.

Uit voorbereidend onderzoek is gebleken dat een snelle afkoeling tot een temperatuur van ca -10 °C binnen enkele dagen voldoende is om niet afgeharde wortelstokken van duizendknoop te doden. In hoeverre de Nederlandse klimaatcondities gedurende de winterperiode effect hebben op de effectiviteit en daarmee de toepasbaarheid van de methode is in dit onderzoek niet bepaald.

### 2.2 Groeiplaats Aziatische duizendknoop

Op de pilot locatie in Gendringen, Gelderland bevindt zich een groeiplaats van Boheemse duizendknoop, *Fallopia x bohemica* (Figuur 3). Op deze groeiplaats zijn eerder geen bestrijdingsmethoden toegepast.



**Figuur 3** Groeiplaats van Aziatische duizendknoop (*Fallopia x bohemica*) op de test locatie, Gendringen, Gelderland (Foto Wageningen UR).

## 2.3 Thermische behandeling

### 2.3.1 Opzet thermische installatie

Op de locatie zal de bodem worden afgekoeld tot ca.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hiervoor worden verticale vrieslansen in de bodem gebracht die via een geïsoleerde slang in serie zijn aangesloten op een koelinstallatie. Door de vrieslansen circuleert een koelmiddel met een temperatuur van  $-35$  tot  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Door het lateraal onttrekken van energie zal de omliggende bodem afkoelen waarbij er sprake zal zijn van een temperatuurgradiënt in de bodem. Het te behandelen oppervlak wordt afgedekt met een isolerende box. De installatie omvat ook een container met daarin de apparatuur en elektronica (Figuur 4). De gehele locatie wordt afgezet met bouwhekken.



**Figuur 4** Schematische weergave koude-installatie (links) en rechts de installatie in het veld (Foto TIBACH).

### 2.3.2 Configuratie temperatuursensoren

In het te behandelen vak worden meerdere temperatuursensoren geplaatst. De temperatuur wordt continue gemeten en elke minuut gelogd en is op afstand uitleesbaar. De temperatuur zal dichtbij de vrieslansen (injectiepunten koelvloeistof) het laagste zijn en neemt toe naarmate de afstand tot de lans 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 hoogste temperatuur in het behandelde vak. Als de minimale temperatuur van  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  bij de verst weggelegen temperatuursensoren is bereikt, dan wordt verondersteld dat deze temperatuur in het hele behandelde deel van het depot is bereikt.

## 2.4 Effectiviteitsbepalingen

### 2.4.1 Bepaling wortelzone

Voorafgaande aan de opbouw van de testfaciliteit wordt door middel van een boring of proefsleuf bepaald tot op welke diepte de duizendknoop wortelt (bepaling wortelzone). Op basis van de resultaten wordt de diepte bepaald waarop de vrieslansen worden geplaatst.

### 2.4.2 Monsternames en analyses

Voor het in beeld brengen van de effectiviteit van de behandeling en de veranderingen die dat veroorzaakt in bodemkwaliteit worden zowel voor als na een behandeling grondmonsters (inclusief wortelstokfragmenten) verzameld. De grond wordt in afsluitbare plastic emmers opgeslagen. Een deel wordt gebruikt voor vitaliteitsbepalingen van de wortelstokken (als maat voor de effectiviteit), een ander deel voor bepalen bodemkwaliteitsparameters. Het aantal en de posities voor monsternames worden op basis van expert



judgement vastgesteld. Er is geen protocol voor dit type metingen dat een betrouwbaar en representatief beeld garandeert van de partij. De volgende bepalingen worden uitgevoerd.

### **Vitaliteit wortelstokken**

Uitgezeefde wortelstokfragmenten worden indien nodig afgespoeld met leidingwater om overtollige grond te verwijderen en vervolgens op een vochtige ondergrond in een met niet-lichtdoorlatend plasticfolie afgedekt plastic bakje gelegd en geteld. Het bakje wordt bij kamertemperatuur weggezet. Na een incubatieperiode van ca. 7-10 dagen worden de wortelstokfragmenten visueel beoordeeld op vitaliteit. Vitaal wil in dit geval zeggen dat er een of meerdere witte, actieve knopen, nieuwe scheuten of echte wortels zichtbaar zijn (Figuur 5). Het aantal vitale wortelstokfragmenten wordt geteld en uitgedrukt als percentage van het totaal aantal geïncubeerde fragmenten. Na de beoordeling wordt het plantmateriaal vernietigd (autoclaaf). Met de vitaliteitsmetingen kan worden bepaald of er in de grond nog levend plantmateriaal aanwezig is dat in staat is tot nieuwe uitgroei.



**Figuur 5** *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 (Foto Wageningen UR).*

### **Biologische Bodemkwaliteit**

De biologische kwaliteit van de grond is van belang voor de hergebruikswaarde, bijvoorbeeld als teelaarde of als leeflaag (tuinen, parken, groenstroken etc.). De biologische kwaliteit wordt op verschillende, complementaire manieren in beeld worden gebracht.

#### *Organische stofgehalte*

Organische stofgehalte vervult verschillende functies in de bodem en is bepalend voor onder anderen het bodemleven, de bodemstructuur, waterhuishouding en de nutriëntenlevering en -binding. Bij verbranden van de grond wordt alle organische stof in de grond omgezet in CO<sub>2</sub>, waardoor de samenhang van de gronddeeltjes grotendeel verdwijnt. Daarnaast kunnen bepaalde stoffen zoals metaalionen achterblijven in de grond en een giftige werking hebben op nieuw bodemleven. Verandering in het organische stofgehalte in de bodem is eenvoudig te meten en een eerste maat van bodemgezondheid/vruchtbaarheid. Gezonde bodems hebben een organisch stofgehalte van 3-5%, veenbodems niet meegerekend.

#### *Microbiële diversiteit*

Diversiteit in de bodem aan bodemleven is een maat voor de gezondheid van de bodem waarbij vooral gestreefd wordt een hoge biodiversiteit te bereiken of te behouden. Om een indicatie van het bodemleven te krijgen kunnen de in de bodem aanwezige fosfolipidevetzuren (PLFA's) worden geanalyseerd. PLFA's komen

---

voor in de celwanden van de levende organismen en worden snel afgebroken nadat een organisme sterft. Door de samenstelling van de PLFA's te meten kan er een vingerafdruk van de microbiële gemeenschap worden gegeven.

#### *Kiemtesten*

Of de behandelde grond biologische gezond is en snel weer begroeid kan worden door planten is afhankelijk of (een deel van de) aanwezige zaadbank in de grond de behandeling overleefd. Dit wordt getest door een aantal kiemtesten uit te voeren met grondmonsters uit de behandelde grond.

### 2.4.3 Effectiviteitsmonitoring lange termijn

De vitaliteitsmetingen aan wortelstokfragmenten uit een aantal steekproefsgewijs genomen grondmonsters na behandeling bieden geen volledige zekerheid dat alle duizendknoopresten in het totale grondvolume afdoende behandeld zijn geweest. Voor extra zekerheid wordt na afloop van een behandeling, als de bodem weer is ontdooid, de plot gedurende de rest van het groeiseizoen (tot medio november, is afhankelijk van het weer) elke vier weken gemonitord op hergroei.

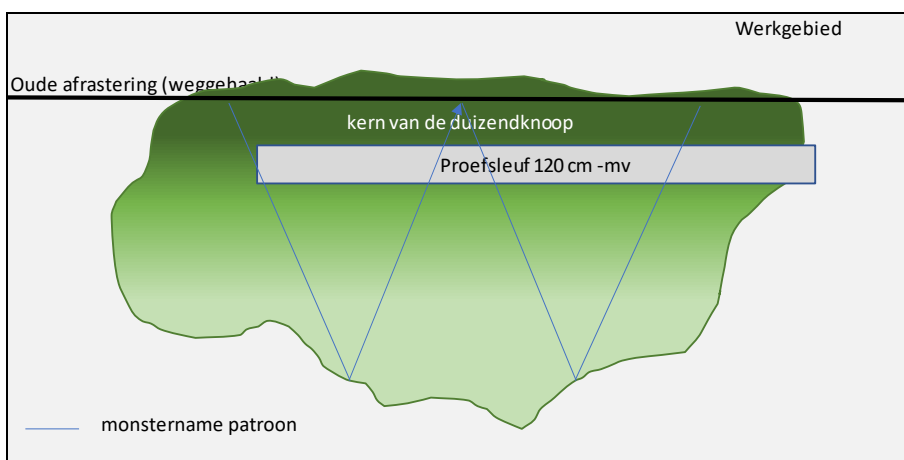
Hierbij wordt bij een eventuele hergroei een aantal kwantitatieve gegevens verzameld zoals:

- Bedekkingsgraad (aantal stengels per m<sup>2</sup>)
- Hoogte (m)
- Stengeldikte (m)
- Oppervlakte (m<sup>2</sup>)

# 3 Resultaten

## 3.1 Voorbereidende werkzaamheden

Op 17 juni 2021 zijn in het werkgebied (Figuur 6) de bovengrondse delen van de duizendknoop afgemaaid met een bosmaaier. De afgemaaide delen zijn tijdelijk opgeslagen op een zeildoek en hebben na opbouw van de installatie een koude-behandeling ondergaan. Na het afmaaien is door middel van het graven van een proefsleuf bepaald tot op welke diepte de duizendknoop wortelt (Figuur 7). Om verdere verspreiding van de duizendknoop te voorkomen is de uitgegraven grond binnen het werkgebied gehouden en is het materieel gereinigd voor het verlaten van het werkgebied.



**Figuur 6** Schematische voorstelling werkgebied (niet op schaal).

In de toplaag is een netwerk van vooral dunnere wortelstokken (<1 cm diameter) aangetroffen. Tussen 10 en 50 cm -mv zijn, verspreid in het profiel wortelstokken aangetroffen met een diameter van ca. 1-2 cm. Op 50 cm -mv zijn enkele relatief dikke en horizontaal lopende wortelstokken gevonden (diameter 5-7 cm) die hun oorsprong hebben in de kern van de groeiplaats. Daarnaast zijn er enkele wortelstokken gevonden die verticaal naar beneden groeiden tot op 120 cm -mv waar een vochtige zandlaag begint. De eindpunten van de wortelstokken waren hier zwart en sponzig (rotting). In de vochtige zandlaag zijn geen wortelstokken gevonden. De maximale wortelingsdiepte lijkt voor deze locatie op 120 cm -mv te liggen.

<b>Kenmerken groeiplaats:</b>	
Afmeting:	ca. 45 m <sup>2</sup> , ruwweg 9x5 m
Soort:	Bastaard- of boheemse duizendknoop ( <i>Fallopia x bohemica</i> ), een hybride tussen <i>F. japonica</i> en <i>F. sachalinensis</i> .
Kenmerken:	groeikern met dikke 'knoesten' waaruit dicht opeenstaande stengels met een diameter van 2-3 cm en een hoogte van ca. 3-4 m groeien. Verder weg van de kern wordt de diameter van de stengels kleiner (0.5-1 cm) en zijn de stengels minder hoog, tot ca. 2 m.
Grondsoort:	toplaag 10-15 cm; vrij harde rivierklei/leemachtig tot 120 cm -mv, daaronder nat zand.
Worteldiepte:	max 120 cm -mv.



**Figuur 7** Graven van de proefsleuf (links), de karakteristieke oranje gekleurde duizendknoop wortelstokken zijn herkenbaar in het profiel (rechts) (Foto's Wageningen UR).

## 3.2 Verloop koudebehandeling

Direct na het afmaaien van de bovengrondse delen van de duizendknoop is gestart met de opbouw van de installatie. Hierbij was al duidelijk dat de groeiplaats te groot was om met de beschikbare installatie in een keer te kunnen behandelen. De vrieslansen en de isolerende overkapping zijn zodanig geplaatst dat de kern van de groeiplaats binnen het behandelde oppervlak viel. Het deel van de groeiplaats buiten de overkapping kon niet worden behandeld.

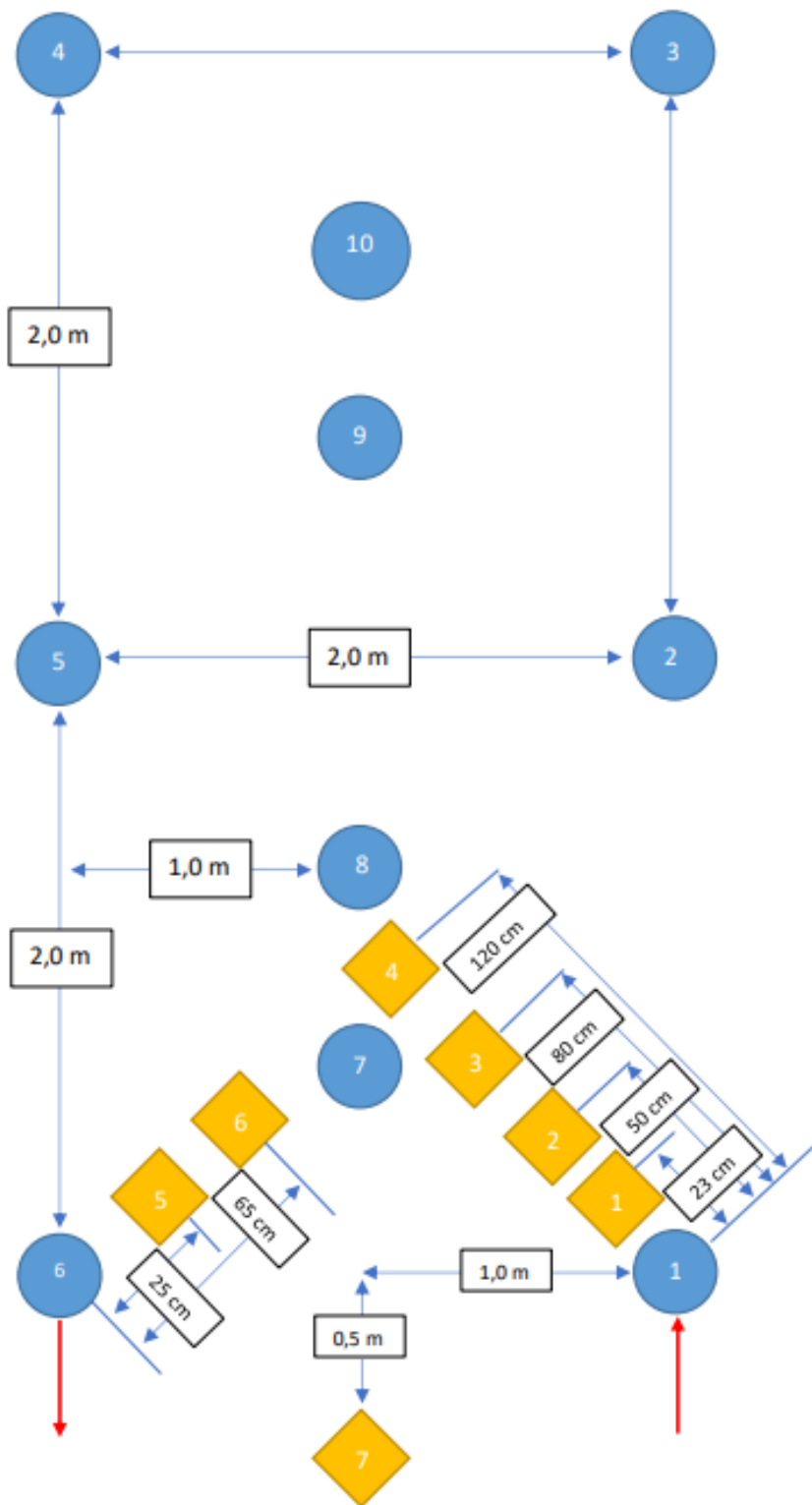
Op 18 juni 2021 tot en met 28 juni 2021 heeft de installatie met 6 lansen gedraaid. Vervolgens heeft de installatie op 28 juni kort uitgestaan om vier extra lansen toe te voegen (lansen 7-8-9-10; Figuur 8), dit om het vriesproces te versnellen. Daarnaast is er nog een kortstondige (enkele uren) motorstoring geweest van het aggregaat. Dit is opgelost door een noodaggregaat te gebruiken. De lansen zijn in serie met elkaar verbonden. In het begin van het vriesproces zal de eerste lans in serie het meest koelen, maar gedurende de tijd zal het verschil tussen de eerste en laatste lans in serie steeds kleiner worden. Op 10 juli 2021 is de behandeling beëindigd.

Uit de temperatuurmetingen tussen de lansen (sensoren 1 t/m 6) blijkt dat de gerealiseerde minimumtemperatuur op 30 en 80 cm diepte tussen de  $-7.8$  en  $-15.3$  °C lag (Tabel 2). Direct naast de lans daalde de temperatuur het snelste en werd de laagste temperatuur gehaald ( $\approx -15$  °C). Het bevroren van de grond zal vanuit de positie van de lans gezien steeds langer duren naar mate de straal rond de lans groter wordt. Op een diepte van 130 cm tussen de lansen, op het grensvlak tussen het bewortelde deel van de bodem en het grondwater, varieerde de temperatuur tussen  $-4,4$  en  $-10,7$  °C. Ook hier geldt dat direct naast de lans de laagste temperatuur werd gehaald. De temperaturen waren hier minder laag ten opzichte van temperaturen in de bovenliggende grondlagen. Waarschijnlijk is dit een gevolg van de aanwezigheid van grondwater in de onderliggende bodemlaag. Direct naast de lans is dit met heel veel energie deels te bevroren, maar naar mate de straal groter wordt, gaat dit proces steeds moeizamer en duurt langer. Belangrijk is echter dat alle grond boven de grondwater-laag wel bevroren geweest.

Op de buitenrand van het behandelde gebied (sensor 7), op grotere afstand van de lansen buiten de bevroeringsrange varieerde de temperatuur tussen  $1.9$  en  $-1.3$  °C. De koude energie van de lansen zal naar elkaar toe groeien, waardoor het gebied binnen de lansen goed zal bevroren. Echter, geeft het gebied buiten de lansen geen "tegenas" dan zal de koude energie deels verloren gaan in het bodemvolume buiten het behandelgebied.

**Tabel 2**    *Overzicht van de minimum, maximum (omgevingstemperatuur bij aanvang) en gemiddelde temperaturen op verschillende dieptes in de periode van 18 juni 2021 tot en met 10 juli 2021.*

Sensor	Temperatuur (°C)			
	30 cm -mv	80 cm -mv	130 cm -mv	
Temp voeler 1	Min	-15,3	-15,3	tussen lans 1 en 7, kortste afstand tot de lans (1) 23 cm
	Max	7,4	2,8	
	Gemid	-8,5	-10,3	
Temp voeler 2	Min	-9,7	-9	tussen lans 1 en 7, kortste afstand tot de lans (1) 50 cm
	Max	14,7	12,3	
	Gemid	-1,8	-1,5	
Temp voeler 3	Min	-9,2	-9,2	tussen lans 1 en 7, kortste afstand tot de lans (7) 23 cm
	Max	14,3	14,8	
	Gemid	-0,9	-0,2	
Temp voeler 4	Min	-8	-7,8	midden tussen lans 7 en 8, afstand tot de lansen ca. 25 cm
	Max	11,8	16,5	
	Gemid	-1,0	2,0	
Temp voeler 5	Min		-11,3	tussen lans 6 en 7, kortste afstand tot de lans (6) 25 cm
	Max		5,7	
	Gemid		-6,3	
Temp voeler 6	Min	-8,2	-8,5	tussen lans 6 en 7, kortste afstand tot de lans (6) 65 cm
	Max	15	14,5	
	Gemid	0,6	0,3	
Temp voeler 7	Min	1,9	0,3	tussen lans 1 en 6, langs de buitenrand van het behandelde gebied, afstand tot de lansen 110 cm
	Max	13	15,2	
	Gemid	6,2	5,2	



Lansen 7-8-9-10 zijn op 28-06-21 bijgeplaatst. Nieuwe vloeistof route wordt: 1-7-8-2-9-10-3-4-5-6

**Figuur 8** Situering van de vrieslansen en temperatuursensoren. Tien dagen na aanvang zijn vier extra lansen bijgeplaatst (lansen 7-8-9-10).

## 3.3 Effectiviteit koudebehandeling

### 3.3.1 Monsternames

In de periode juli-november 2021, na afloop van de koudebehandeling zijn op verschillende tijdstippen de bepalingen uitgevoerd (Tabel 3), namelijk:

- In het behandelde deel van de pilot locatie zijn wortelstokken verzameld voor bepaling van de vitaliteit;
- Zowel binnen als buiten (referentiepunt) het behandelde deel van de pilot locatie zijn in een W-vormig patroon (zie Figuur 6) grondmonsters van de toplaag genomen voor bepaling van het actief bodemleven en enkele fysische parameters (pH, C-organisch en het organisch stofgehalte). De bepalingen buiten het behandelde deel dienen als referentie omdat het bodemleven afhankelijk is van de omstandigheden op moment van monstername en varieert over het seizoen. In augustus is een kiemtest ingezet voor bepaling van de hergroei van kruiden en grassen na behandeling.
- Visuele schouw van het behandelde oppervlak en directe omgeving op hergroei van duizendknoop.

**Tabel 3** Overzicht van de uitgevoerde bepalingen in de periode juli-november 2021, na afloop van de koudebehandeling.

Tijdstip	Wortel stokken	Grondmonsters		Schouw	Opmerkingen
	(vitaliteit)	(Bodemleven en OS)	(Hergroei)		
	behandeld	onbehandeld (ref. punt)			
Week 30 (26-7-2021)	x	x	x	x	
Week 36 (8-9-2021)				x	
Week 39 (28-9-2021)		x	x	x	volledige ontdooiing
Week 43 (28-10-2021)	x	x	X	x	
Week 47 (22-11-2021)				x	

### 3.3.2 Vitaliteit wortelstokken

In week 30, 23 dagen na beëindiging van de behandeling zijn in het behandelde gebied (binnen de box van 7x4 m) op zes punten grondmonsters genomen (0-50 cm -mv). De fragmenten van de duizendknoop wortelstokken zijn ter plekke uit de grond gezeefd en in Wageningen gespoeld en getest op vitaliteit. Geen van de wortelstokfragmenten bleek nog vitaal te zijn (Tabel 4; Figuur 10). Op 28 oktober zijn in het intensiever gekoelde gedeelte op vier punten nogmaals wortelstokken opgegraven en getest op vitaliteit. Ook hierbij zijn geen vitale wortelstokken aangetroffen.

**Tabel 4** Bepaling aantal vitale wortelstokken (n) op twee tijdstippen na beëindiging van de koude behandeling.

Meet-punt	Diepte (cm)	Week 30 (26-7-2021)		Week 39 (28-10-2021)		Totaal	
		wortel- stokken (n)	vitaal (n)	wortel- stokken (n)	vitaal (n)	wortel- stokken (n)	vitaal (n)
1	0-50	3	0			3	0
2	0-50	2	0			2	0
3,1	0-50	22	0	13	0	35	0
3,2	0-50	8	0	10	0	18	0
4,1	0-50	13	0	13	0	26	0
4,2	0-50	20	0	4	0	24	0
						<b>108</b>	<b>0</b>



### 3.3.3 Hergroei

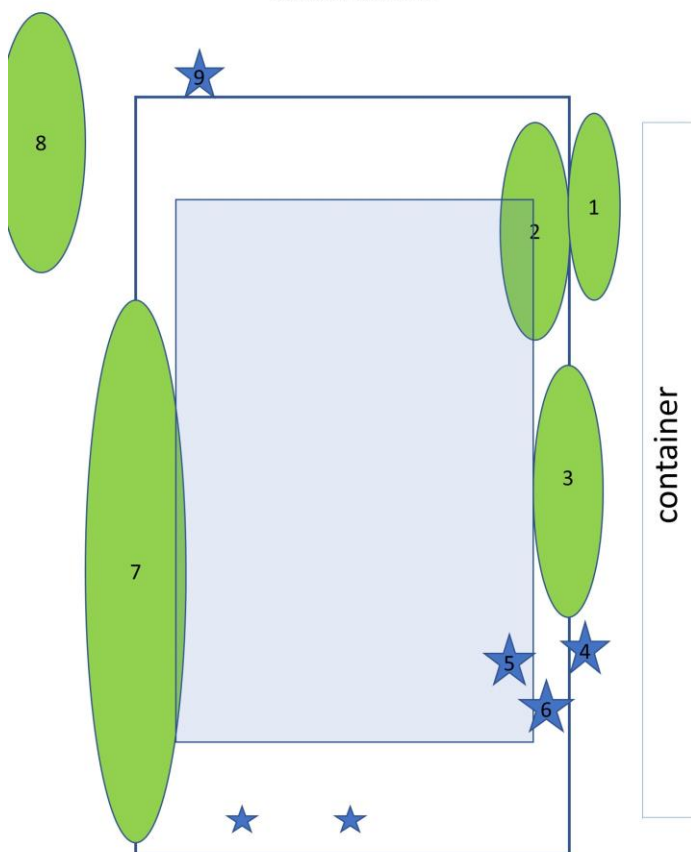
Na beëindiging van de behandeling is op verschillende tijdstippen gedurende het seizoen een schouw van de locatie uitgevoerd om eventuele hergroei van duizendknoop in beeld te brengen (Figuur 9). Bij de eerste schouw in week 30 zijn in het behandelde oppervlak geen uitlopers van duizendknoop waargenomen. Net daarbuiten (buiten de overkapping) waren enkele nieuwe uitlopers van de duizendknoop zichtbaar (ca. 40-80 cm hoog). Dat was te verwachten omdat de groeiplaats groter was dan met de beschikbare installatie behandeld kon worden. Er is ook geen hergroei geconstateerd uit de afgemaaide bovengrondse delen van de duizendknoop die onder de overkapping zijn mee-behandeld.

In week 36 is een tweede schouw uitgevoerd. In het centrale deel van het behandelde gebied zijn geen uitlopers van duizendknoop waargenomen. Meer naar de randen, waar de temperatuur iets minder laag is geweest waren wel nieuwe uitlopers zichtbaar (Tabel 5). Een deel daarvan is van buiten de behandelde plek naar binnen gegroeid. Op het behandelde gedeelte was een beginnende hergroei van kruiden en grassen te zien. Bij de schouw in week 39 en 43 was de situatie met betrekking tot de hergroei weinig veranderd ten opzichte van week 36, er waren geen nieuwe uitlopers meer bijgekomen en de planten waren niet veel gegroeid. Bij de laatste schouw van het seizoen in week 47 begonnen de bovengrondse delen van de planten al af te sterven, wat normaal is voor de tijd van het jaar. Duizendknoop overwintert namelijk op de wortelstokken waaruit in het volgende voorjaar weer nieuwe stengels en bladeren ontstaan.

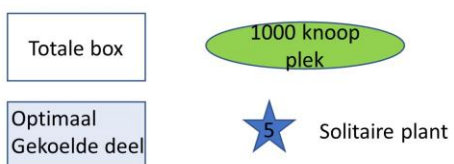
**Tabel 5** Overzicht van het aantal uitlopers van duizendknoop op en direct naast het behandelde oppervlak (week 36).

Nr.*	Aantal uitlopers (stengels)	Maximale hoogte (cm)	Opmerkingen
1	5	60	Buiten de overkapping
2	7	60	Binnen de overkapping
3a	13	70	Binnen de overkapping
3b	16	90	Buiten de overkapping
4	1	20	Solitaire plant
5	1	50	Solitaire plant
6	1	50	Solitaire plant
7	40 à 50	140	Deels in bloei
8	-	90	Buiten de overkapping
9	3	50	Binnen de overkapping

\* nummering uit Figuur 9.



Legenda:



**Figuur 9** Schematische weergave van de plekken waar hergroei van duizendknoop is geconstateerd in week 36.



**Figuur 10** Dode duizendknoop wortelstokken met spontane schimmelaantasting na de koudebehandeling (Foto Wageningen UR).

### 3.3.4 Bodemleven en organisch stofgehalte

Na afloop van de koude-behandeling zijn op drie verschillende tijdstippen enkele biologische parameters bepaald aan de hand van de in de bodem aanwezige fosfolipidevetzuren (PLFA's). PLFA's komen voor in de celwanden van de levende organismen (Tabel 6).

- *Totale microbiële biomassa*. De som van de aanwezige PLFA's is een indicatie voor de hoeveelheid micro-organismen. Doordat PLFA's snel worden afgebroken nadat een organisme sterft, gaat het vooral om de levende microbiële biomassa. De microbiële biomassa is een indicator voor de algemene weerbaarheid van de bodem. Hoe meer micro-organismen er aanwezig zijn, hoe meer concurrentie er is met pathogenen voor ruimte en voedsel.
- *Totaal bacteriën*. Bepaalde groepen bacteriën breken o.a. (eenvoudig) organisch materiaal af, leggen nutriënten vast, binden atmosferische stikstof zetten ammonium om in nitraatstikstof, vormen stabiele aggregaten, verhogen de ziekteverendheid en vormen afbraakproducten die pathogenen kunnen verzwakken of doden.
- *Totaal schimmels*. Schimmels zorgen o.a. voor afbraak van moeilijk afbreekbaar organisch materiaal, vormen stabiele aggregaten, scheiden organische zuren uit waardoor de beschikbaarheid van sommige nutriënten verbetert en verhogen de ziekteverendheid door concurrentie of predatie.
- *Protozoa*. Protozoa zijn eencellige micro-organismen die een celkern bevatten (eukaryoten). De belangrijkste functie van protozoa is het beschikbaar maken van nutriënten voor de plant door het 'grazen' op micro-organismen (voornamelijk bacteriën). De activiteit van protozoën is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van vocht in de bodem

Naast het gemeten PFLA-gehalte wordt ook een kwalitatieve waarde (laag, vrij laag, gemiddeld, vrij hoog, hoog) gegeven voor de interpretatie van de individuele gehalten. Getalsmatig zijn er kleine verschillen in bodemleven gemeten tussen de behandelde en onbehandelde grondmonsters en over het seizoen. Bij de eerste bepaling, drie weken na beëindiging van de behandeling bleek er nog een vrijwel gelijke hoeveelheid bodemleven aanwezig te zijn in vergelijking met het onbehandelde monster. Over het seizoen waren er kwalitatief gezien vrijwel geen verschillen in bodemleven tussen behandelde en onbehandelde grondmonsters. De biologische parameters werden geclassificeerd als 'gemiddeld'

Organische stof bestaat vooral uit C, N, P en S. Dynamische organische stof bevat relatief veel N en S en wordt makkelijk afgebroken door het bodemleven. Hierbij worden nutriënten gemineraliseerd die beschikbaar komen voor planten. Stabiele organische stof bevat relatief veel C, en wordt minder snel afgebroken door het bodemleven. Stabiele organische stof draagt o.a. bij aan de bewerkbaarheid en rulheid van de bodem. De fysische parameters laten weinig variatie zien tussen de behandelde en onbehandelde grondmonsters en over het seizoen. De fysische parameters C/OS ratio is geclassificeerd als 'gemiddeld'.

**Tabel 6** Biologische en fysische parameters bepaald in grond op drie verschillende tijdstippen na beëindiging van de koude behandeling.

Parameter	Eenheid	week 30		week 39		week 43							
		Behandeld	Onbehandeld (referentie)	Behandeld	Onbehandeld (referentie)	Behandeld	Onbehandeld (referentie)						
		Resultaat	Indicator	Resultaat	Indicator	Resultaat	Indicator	Resultaat	Indicator	Resultaat	Indicator		
<i>Biologisch</i>													
Microbiële biomassa	mg PLFA/kg	27	Gemiddeld	16	Gemiddeld	21	Gemiddeld	40	Gemiddeld	13	Vrij Laag/ Gemiddeld	33	Gemiddeld
Totaal bacteriën	mg PLFA/kg	27	Gemiddeld	16	Gemiddeld	19	Gemiddeld	38	Gemiddeld	12	Vrij Laag/ Gemiddeld	30	Gemiddeld
Totaal schimmels	mg PLFA/kg	2,3	Gemiddeld	1	Gemiddeld	1,7	Gemiddeld	2,6	Gemiddeld	1,1	Vrij Laag/ Gemiddeld	2,1	Gemiddeld
Protozoa	mg PLFA/kg	0,22	Gemiddeld	0,07	Gemiddeld	0,21	Gemiddeld	0,35	Vrij hoog	0,11	Gemiddeld	0,28	Gemiddeld / Vrij hoog
<i>Fysisch</i>													
Zuurgraad (pH)		5,2	Laag	5,3	Laag	5,3	Laag	4,9	Laag	5,1	Laag	5,1	Laag
C-organisch	%	2,7		2,3		2,9		3,3		2,2		3,1	
Organische stof gehalte	%	5,4		4,5		5,5		6,8		4,2		6,1	
C/OS-ratio		0,5	Gemiddeld	0,51	Gemiddeld	0,53	Gemiddeld	0,49	Gemiddeld	0,52	Gemiddeld	0,52	Gemiddeld

### 3.3.5 Kiemtest

Een kiemtest liet zien dat er in de behandelde grond nog kiemkrachtige zaden voorkomen die weer kunnen uitgroeien tot nieuwe planten. De kieming in de behandelde grond kwam echter trager op gang ten opzichte van de onbehandelde grond (Tabel 7), maar na een aantal weken worden de verschillen steeds kleiner (Figuur 11). In de behandelde grond kwamen vijf soorten minder op dan in de onbehandelde grond. Daar tegenover staat dat soorten als Kleine varkenskers, Gewone melkdistel en vogelmuur wel aanwezig waren in de behandelde en niet in de onbehandelde grond (Tabel 8). Dit zou een behandelingseffect kunnen zijn maar het is gezien het geringe aantal tests meer aannemelijk zou dat dit op toeval berust.

**Tabel 7** Aantal kiemplanten in behandelde en onbehandelde grond van de pilot locatie op verschillende tijdstippen na inzetten (26 juli 2021).

Datum	Aantal dagen na inzetten	Aantal Kiemplanten	
		Behandelde grond	Onbehandelde grond
2-aug	7	1	14
6-aug	14	9	34
9-aug	17	17	76



**Figuur 11** Resultaten kiemtest met grond uit het behandelde (onder) en onbehandelde (boven) deel van de pilot locatie op 9 augustus 2021 (links), 9 september (midden) en 28 september (rechts).

**Tabel 8** Overzicht van de plantensoorten die spontaan zijn gekiemd in behandelde en onbehandelde grond van de pilot locatie.

Naam		Behandelde grond	Onbehandelde grond
Kruidachtigen			
<i>Atriplex</i>	(Melde)		x
<i>Cerastium fontanum</i>	(Gewone hoornbloem)	x	x
<i>Chenopodium Album</i>	(Melganzevoet)		x
<i>Cirsium arvense</i>	(Akkerdistel)		x
<i>Lepidium didymum</i>	(Kleine varkenskers)	x	
<i>Ranunculus repens</i>	(kruipende boterbloem)		x
<i>Rumex obtusifolius</i>	(Ridderzuring)	x	x
<i>Senecio vulgaris</i>	(Klein kruiskruid)	x	x
<i>Sonchus Oleraceus</i>	(Gewone melkdistel)	x	
<i>Stellaria media</i>	(Vogelmuur)	x	
<i>Urtica dioica</i>	(Grote brandnetel)	x	x
Grassen			
<i>Elymus repens</i>	(Kweek)		x
<i>Holcus lanatus</i>	(Gestreepte witbol)	x	x
<i>Poa trivialis</i>	(Ruw beemdgras)	x	x

---

## 4 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 *in situ* bevriezing van de bodem een effectieve bestrijdingsmethode is voor Aziatische duizendknoop. De test is uitgevoerd op een groeiplaats van Boheemse duizendknoop (*Fallopia x bohemica*) met een oppervlak van circa 45 m<sup>2</sup>. Het betrof een groeikern met dikke 'knoesten' waaruit dicht opeenstaande stengels met een diameter van 2-3 cm en een hoogte van ca. 3-4 m groeien. Meer naar de randen van de groeiplaats hadden de stengels een kleinere diameter (0.5-1 cm) en waren minder hoog (ca. 2 m).

De bodem bestond uit een toplaag van 10-15 cm met daaronder een vrij harde laag rivierklei tot op 120 cm -mv. Daaronder begon een laag van nat zand. Wortelstokken van duizendknoop zijn aangetroffen in de toplaag en de laag met rivierklei tot aan het grensvlak met het natte zand.

In juni 2021 is de koude-behandeling uitgevoerd op een deel van de groeiplaats. De vrieslansen en de isolerende overkapping zijn zodanig geplaatst dat de kern van de groeiplaats binnen het behandelde oppervlak viel. Voor het plaatsen van de installatie zijn de bovengrondse delen van de duizendknoop afgemaaid met een bosmaaier. De afgemaaide delen zijn tijdelijk opgeslagen en later onder de overkapping mee-behandeld. Het deel van de groeiplaats buiten de overkapping is niet behandeld. In de periode juli-november 2021, na afloop van de koude-behandeling zijn op verschillende tijdstippen waarnemingen en analyses uitgevoerd

### **Conclusies**

- De pilot heeft aangetoond dat het technisch mogelijk is om grotere grondvolumes *in situ* af te koelen tot ca. -10 °C. Het duurde circa 21 dagen om de minimale temperatuur te bereiken;
- Het bevriezen van de bodem is een effectieve bestrijdingsmethode gebleken voor Aziatische duizendknopen.

### **Overige conclusies en waarnemingen**

- In de grondmonsters die na beëindiging van de behandeling en ontdooien van de grond zijn verzameld zijn geen vitale wortelstokfragmenten aangetroffen. Ook bij de visuele inspecties na afloop van de behandeling is geen hergroei van duizendknoop waargenomen. Dit betekent dat naast de in de grond aanwezige wortelstokken ook de 'knoesten' in de kern van de groeiplaats niet meer uitlopen na een koude behandeling;
- De groeiplaats was groter dan met de beschikbare installatie behandeld kon worden. Voor een optimaler resultaat had een iets groter oppervlak behandeld moeten worden. Voor de bestrijding van grotere groeiplaatsen betekent dit dat er meer vrieslansen geplaatst moeten worden of dat de vrieslansen (meerdere keren) verplaatst moeten worden voor een stapsgewijze behandeling van de hele groeiplaats;
- Over het seizoen zijn er getalsmatig kleine verschillen in bodemleven gemeten tussen de behandelde en onbehandelde grondmonsters en over het seizoen. Kwalitatief gezien waren er vrijwel geen verschillen in bodemleven tussen behandelde en onbehandelde grondmonsters, alle uitkomsten werden geclassificeerd als 'gemiddeld'. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de koudebehandeling een destructief effect heeft gehad op het bodemleven;
- De koudebehandeling heeft geen effect gehad op de fysische parameters van de bodem zoals pH en organisch stofgehalte;

- 
- Na beëindiging van de behandeling en ontdooien van de grond bleek de zaadbank van diverse kruiden en grassen in tact gebleven te zijn. Door het wegvallen van de duizendknoop kregen de zaden kans om te ontkiemen;
  - Voordeel van een *in-situ* behandeling is dat de grond niet wordt geroerd waardoor er (vrijwel) geen risico is op verdere verspreiding door met duizendknoop besmette grond.

### **Aanbevelingen**

- Het onderzoek is uitgevoerd in de zomerperiode bij buitentemperaturen overdag van boven de 20 °C. In verband met de vorsttolerantie van de wortelstokken is aan te bevelen nader onderzoek te doen naar de effectiviteit van de methode bij lage(re) buitentemperaturen gedurende de winterperiode. Hiermee kan een beter beeld worden verkregen van de periode van jaar waarin de methode effectief kan worden toegepast;
- Voor het versnellen van de cyclustijd is het aan te bevelen om de afstand tussen de lansen te verkleinen (halveren);
- Nader onderzoek doen naar efficiencyverbeteringen (rendement) van de koelmachine en lansen voor optimalisatie van het totale energieverbruik;
- Op basis van de verzamelde kengetallen een kostenberekening opstellen (€/m<sup>2</sup>).

De pilot naar bestrijding van Aziatische duizendknoop door *in situ* bevrozing van de bodem is uitgevoerd in samenwerking met de firma TIBACH op een locatie in Gendringen, Gelderland. De pilot heeft kunnen plaatsvinden dankzij de medewerking en financiering door de Gemeente Oude IJsselstreek.

---

# Literatuur

- Gusta, Lawrence V. & Michael Wisniewski, 2012. Frost Tolerance in Plants. *Plant Stress Physiology* (ed. S. Shabala), pp 132-147.
- 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.
- Kawamura, Yukio & Matsuo Uemura, 2014. Plant low-temperature tolerance and its cellular mechanisms. *Plant Abiotic Stress, Second Edition*. Edited by Matthew A. Jenks and Paul M. Hasegawa. Published by John Wiley & Sons, Inc.
- 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.



---

Correspondentie adres voor dit rapport:

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

Rapport WPR-1130



---

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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



---

Correspondentieadres 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-1130

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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.

