



Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen

Academiejaar 2014 – 2015

Optimalisatie van onkruidbestrijding met heet water

Amelie De Keyser

Promotor: Prof. dr. ir. B. De Cauwer

Tutor: ir. S. Claerhout

Masterproef voorgedragen tot het behalen van de graad van
Master in de bio-ingenieurswetenschappen: Landbouwkunde

De auteur en de promotor geven de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting uitdrukkelijk de bron te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

The author and the promotor give the permission to use this thesis for consultation and to copy parts of it for personal use.

Any other use is subject to the copyright laws, more specifically the source must be extensively quoted when citing results from this thesis.

Gent, 5 juni 2015.

Prof. dr. ir. B. De Cauwer

Amelie De Keyser

ir. S. Claerhout

Dankwoord

Zonder de steun en hulp van een aantal mensen was deze masterproef niet tot stand gekomen. Bij deze wil ik dan ook graag de volgende personen bedanken:

In de eerste plaats wil ik graag mijn promotor, Prof. dr. ir. Benny De Cauwer, en begeleidster, ir. Sofie Claerhout, bedanken voor de uitstekende begeleiding, samenwerking, het deskundige advies en het nalezen en verbeteren van deze masterproef.

Daarnaast wil ik de firma WAVE Europe en de Van de Haar Groep, in het bijzonder Henk van de Haar, bedanken voor de ontwikkeling en het beschikbaar stellen van het spuittoestel waarmee de heetwaterbehandelingen uitgevoerd werden.

Ook wil ik het laboratorium voor Plantecologie aan de faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, UGent en in het bijzonder Prof. dr. ir. Kathy Steppe bedanken voor het gebruik en de opstelling van de apparatuur die het mogelijk maakte biologisch-fysiologische en meteorologische metingen te verrichten.

Vervolgens dien ik ook Prof. dr. ir. Pieter Spanoghe van het laboratorium voor Fytofarmacie aan de faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, UGent en Thijs Machtelinckx van InterGrow NV te bedanken voor het gebruik van enkele hulpstoffen.

Ten slotte wil ik graag alle medewerkers op de proefhoeve te Melle bedanken voor het opstellen van de proeven, de hulp en de samenwerking. Het was een fijne en leerrijke tijd.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	I
Lijst van afkortingen	III
Samenvatting	IV
1. Inleiding	1
2. Literatuurstudie.....	2
2.1. Context van onkruidbeheersing op verharde oppervlakken.....	2
2.1.1. Belang van onkruidbestrijding op verhardingen	2
2.1.2. Onkruidflora op verhardingen.....	2
2.1.3. Geïntegreerd onkruidbeheer	3
2.1.3.1. Preventieve maatregelen	3
2.1.3.2. Curatieve maatregelen	4
2.2. Gevalstudie: onkruidbestrijding met heet water	8
2.2.1. Werkingswijze.....	8
2.2.2. Optimalisatie van de werking.....	9
2.2.3. Invloedsfactoren.....	9
2.2.3.1. Biologische factoren	10
2.2.3.2. Abiotische factoren	13
2.2.3.3. Technische factoren	14
2.2.3.4. Timing van applicaties	16
2.2.4. Milieuaspecten	17
2.2.4.1. Waterverbruik	18
2.2.4.2. Energieverbruik	18
2.2.4.3. Hulpstoffen	19
3. Materiaal en methoden.....	21
3.1. Gebruikte testsoorten en opkweek.....	21
3.2. Heetwaterapplicator	22
3.3. Experimenten	25
3.3.1. Experiment 1: Invloed van hulpstoffen op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten	25
3.3.1.1. Doelstelling	25
3.3.1.2. Proefopzet	26
3.3.1.3. Metingen	27
3.3.2. Experiment 2 : Eco-efficiënte bestrijdingsscenario's.	29
3.3.2.1. Doelstelling	29
3.3.2.2. Proefopzet	30
3.3.2.3. Metingen	31

3.3.3. Experiment 3: Invloed tijdstip van behandeling gedurende de dag op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten.....	31
3.3.3.1. Doelstelling.....	31
3.3.3.2. Proefopzet.....	32
3.3.3.3. Metingen.....	33
3.4. Metingen.....	36
3.4.1. Bedekking.....	36
3.4.2. Drooggewicht van de levende biomassa.....	37
3.5. Statistische dataverwerking.....	37
4. Resultaten en discussie.....	40
4.1. Experiment 1.....	40
4.1.1. Resultaten.....	40
4.1.1.1. Invloed van hulpstoffen op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten.....	40
4.1.1.2. Fytotoxiciteit van hulpstoffen.....	45
4.1.1.3. Verschil in heetwatergevoeligheid tussen plantenpopulaties en –soorten.....	46
4.1.2. Discussie.....	48
4.2. Experiment 2.....	50
4.2.1. Resultaten.....	50
4.2.1.1. De biomassa-accumulatie van <i>P. major</i> , <i>L. perenne</i> en <i>T. officinale</i> over een periode van 12 weken.....	50
4.2.1.2. Invloed van het bestrijdingsinterval en de cumulatieve energiedosis op de totale droge biomassa na een periode van 12 weken.....	51
4.2.2. Discussie.....	59
4.3. Experiment 3.....	60
4.3.1. Resultaten.....	60
4.3.2. Discussie.....	67
5. Besluit.....	69
6. Aanbevelingen voor verder onderzoek.....	71
Referentielijst.....	72
Bijlagen.....	78

Lijst van afkortingen

AE	ethoxylaten
AES	alcohol-ethoxysulfaten
APE	alkylfenoethoxylaten
ED _x	Effectieve Dosis x: de energiedosis vereist om de biomassa of bedekking met x% te reduceren
LAS	(Lineaire) alkaanarylsulfonaten
LCA	levenscyclusanalyse
LD _x	Letale Dosis x: de energiedosis vereist om x% van de planten af te doden
LDMC	Leaf Dry Matter Content: de ratio van de droge stof van een blad op het vers gewicht in verzadigde toestand
OM	organisch materiaal
PEC	Predicted Environmental Concentration: de voorspelde milieuconcentratie
PNEC	Predicted No Effect Concentration: de voorspelde concentratie waarbij geen milieueffect is
RV	relatieve vochtigheid
RWC	relatieve waterinhoud
SI	SelectiviteitsIndex: de ratio tussen ED _x -waarden van twee verschillende dosis-responscurves
SLA	Specific Leaf Area: specifieke bladoppervlakte; de verhouding van de bladoppervlakte op de droge stof biomassa
UNZ	uren na zonsopkomst

Samenvatting

Het doel van dit onderzoek is de heetwaterbehandeling op onkruiden te optimaliseren door de eco-efficiëntie (de mate van onkruidbestrijding bekomen met een bepaald energiegebruik) en de effectiviteit (de mate waarin het onkruid bestreden wordt) te verhogen. Hiervoor onderzochten we verschillende mogelijke effectiviteitsbeïnvloedende factoren.

Allereerst werd het effect van de toevoeging van een hulpstof aan heet water op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten bepaald. Drie hulpstoffen (Fieldor Max, Vegetop en Mousse de Lin) werden getest op verschillende plantenpopulaties (*L. perenne* 'Meloni', *L. perenne* 'Plenty', *F. rubra* 'Barcrown' en twee klonen van *T. officinale*). Dosis-responsproeven tonen aan dat de toevoeging van een hulpstof doorgaans geen significant effect heeft op de heetwatergevoeligheid van deze populaties. Bij sommige plantensoort x hulpstof combinaties werd de heetwatergevoeligheid echter wel significant verlaagd (de ED₉₀-waarde gebaseerd op zowel de bovengrondse droge biomassa als de bedekkingsgraad kende reducties van 23 tot 63%); het effect van hulpstof-toevoeging varieert hierbij van plantensoort tot plantensoort en van hulpstof tot hulpstof. De geteste hulpstoffen waren op zich niet fytotoxisch.

Vervolgens werd nagegaan of er inter- en intraspecifieke verschillen in heetwatergevoeligheid zijn. Hiervoor werd het effect van een eenmalige heetwaterbehandeling op verschillende plantenpopulaties en –soorten (*L. perenne* 'Meloni', *L. perenne* 'Plenty', *F. rubra* 'Barcrown' en twee klonen van *T. officinale*) bepaald. Dosis-responsproeven tonen aan dat *F. rubra* het meest gevoelig en *L. perenne* het minst gevoelig is voor een eenmalige heetwaterbehandeling; waarbij *F. rubra* ongeveer 1.5 keer gevoeliger is dan *T. officinale* en 5 keer gevoeliger is dan *L. perenne*. De verschillen in gevoeligheid tussen *L. perenne* en *T. officinale* zijn waarschijnlijk te wijten aan het verschil in groeiwijze en specifieke bladoppervlakte (SLA). *Taraxacum officinale* heeft een grotere SLA (2.4 tot 5.7 keer hoger), en meer planofiel-georiënteerde bladeren dan *L. perenne*. De hoge heetwatergevoeligheid van *F. rubra* kan echter niet door morfologische kenmerken verklaard worden. Wellicht zorgt het hoge drogestofgehalte bij deze plantensoort (die 1.9 keer hoger is dan bij *T. officinale* en 1.3 keer hoger is dan bij *L. perenne*) voor de grote gevoeligheid voor heet water.

Zowel bij *L. perenne* als *T. officinale* werden intraspecifieke verschillen in heetwatergevoeligheid waargenomen die veelal verband houden met verschillen in specifieke bladoppervlakte en bladstand. Bij *L. perenne* ondervond het ras met een meer planofiele groeiwijze ('Plenty') grotere weefselshade dan het ras met een meer erecte groeiwijze ('Meloni'). Bij *T. officinale* was de kloon die de grootste bladoppervlakte en specifieke bladoppervlakte bezat het meest gevoelig ten aanzien van heet water.

Daarnaast werd gezocht naar eco-efficiënte bestrijdingsscenario's. De scenario's, toegepast bij *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale*, verschilden in bestrijdingsfrequenties (1, 2, 3, 4, 5 en 6 behandelingen over een periode van 12 weken) en energiedosis per beurt (295, 441, 589, 736 en 883 kJ m⁻²).

Het meest eco-efficiënte bestrijdingsschema was afhankelijk van de plantensoort en resulteerde in een cumulatief energieverbruik van 2205 kJ m⁻² en reducties in totale droge biomassa t.o.v. de uitgangssituatie van 22, 60 en 27% bij respectievelijk *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale*. Hiervoor moesten 5 behandelingen met elk een energiedosis van 441 kJ m⁻² toegediend worden over 12 weken. Omwille van praktische overwegingen in verband met o.a. uitvoerbaarheid en arbeidskosten is het schema met een iets lagere bestrijdingsfrequentie (4 behandelingen over 12 weken) maar iets hogere energiedosis per behandeling (589 kJ m⁻²) meer aanbevelenswaardig voor de praktijk. Dit schema resulteerde in reducties in totale droge biomassa t.o.v. de uitgangssituatie van 54, 62 en 16% voor *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale* respectievelijk.

Om de droge biomassa tegen het einde van de screeningsperiode terug te brengen naar de initiële uitgangssituatie waren bij *T. officinale* 2 behandelingen van elk 589 kJ m⁻² nodig over een periode van 12 weken (cumulatief energieverbruik van 1178 kJ m⁻²).

Tot slot werd de invloed van het tijdstip van behandeling gedurende de dag (2, 4, 6, 8, 10 en 12 uren na zonsopkomst (UNZ)) op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten getest. De gebruikte testsoorten (*L. perenne* en *T. officinale*) vertoonden een duidelijke variatie in gevoeligheid gedurende de dag. Dosis-responsproeven tonen aan dat een behandeling die in de namiddag uitgevoerd wordt (8 tot 12 UNZ), meer weefselschade aanricht dan een behandeling uitgevoerd in de voormiddag (2 tot 6 UNZ). De hoogste gevoeligheid kwam bij *L. perenne* voor bij behandelingen uitgevoerd 8 en 12 UNZ en bij *T. officinale* bij behandelingen uitgevoerd 8 en 10 UNZ. *Lolium perenne* en *T. officinale* waren op deze tijdstippen respectievelijk tot 3.5 keer en 4.4 keer gevoeliger voor heetwaterbehandelingen dan op de tijdstippen waarop deze soorten het minst gevoelig waren (2 en 6 UNZ). De hoogste gevoeligheid van de planten kwam steeds voor op een tijdstip waarbij ofwel de bladdikte het laagst was ofwel het drogestofgehalte het hoogst was.

1. Inleiding

Onkruiden op verhardingen zijn ongewenst omdat ze het straatbeeld schaden en de veiligheid van de weggebruiker in het gedrang brengen. Verhardingen onkruidvrij houden betekent zowel het voorkomen van onkruidgroei (preventieve maatregelen) als het verwijderen of in toom houden van aanwezige onkruiden (curatieve maatregelen).

Preventie van onkruidgroei geschiedt door een goede straatopbouw en het vegen en borstelen van onkruiden waarbij het organisch materiaal verwijderd wordt. De curatieve bestrijding van onkruiden gebeurde tot voor kort in Vlaanderen voornamelijk door chemische bestrijding. Sinds 1 januari 2015 is er echter een verbod op het gebruik van herbiciden omwille van de bezorgdheid over de (overmatige) aanwezigheid van pesticiden in het oppervlakte- en drinkwater waardoor onkruiden nu verwijderd moeten worden met behulp van niet-chemische technieken zoals heet water, branden, hete lucht en straling.

Aangezien deze niet-chemische methoden een lage bestrijdingseffectiviteit, een lage productiviteit (behandelde oppervlakte per tijdseenheid) en een hoog energieverbruik hebben ten opzichte van chemische bestrijding is het optimaliseren van deze technieken uiterst belangrijk. De eco-efficiëntie (de mate van onkruidbestrijding bekomen met een bepaald energiegebruik) en effectiviteit (de mate waarin het onkruid bestreden wordt) kunnen verhoogd worden door te onderzoeken wanneer en in welke omstandigheden de heetwaterbehandeling het effectiefst is. Hiervoor is kennis nodig over de effectiviteitsbeïnvloedende factoren van de technieken.

Het onderzoek gaat verder op dit van Sven Bogaert (2013) waarbij hij reeds enkele mogelijke effectiviteitsbeïnvloedende factoren onderzocht heeft. Het doel is om deze factoren verder te onderzoeken zodat de heetwatertechniek geoptimaliseerd kan worden.

Deze masterproef bestaat uit een literatuurstudie en een onderzoeksbespreking. De literatuurstudie omvat twee delen namelijk een algemene bespreking over onkruidbestrijding op verhardingen en een gevalstudie waarbij de onkruidbestrijding met heet water besproken wordt. Daarna volgt de bespreking van drie uitgevoerde experimenten. In een eerste experiment werd de invloed van hulpstoffen op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten onderzocht. Bij het tweede experiment werd gekeken welk bestrijdingsscenario het meest eco-efficiënt is en het derde experiment onderzocht de invloed van het tijdstip van behandeling gedurende de dag op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten.

De resultaten werden onderzocht met behulp van ANOVA en door het opstellen van dosis-responscurves. Zo konden ED-waarden berekend worden en bijgevolg het effect van de verschillende behandelingen bestudeerd worden.

2. Literatuurstudie

2.1. Context van onkruidbeheersing op verharde oppervlakken

2.1.1. Belang van onkruidbestrijding op verhardingen

In 2010 werd de oppervlakte aan verharde wegen in Vlaanderen geschat op 57941 ha, wat neerkomt op 4.3% van de totale oppervlakte van Vlaanderen (VMM, 2011). Een verharding is een zone die verhard is met asfalt, cementbeton, betonstraatstenen of losse materialen. Het is het bovenste deel van een wegconstructie. Verhardingen worden opgedeeld in 3 types: gesloten, halfopen en open. Gesloten verhardingen zijn voegloze verhardingen bestaande uit cementbeton of bitumineuze materialen. Halfopen verhardingen zijn elementenverhardingen. De bestrating bestaat uit stenen, zoals betonstraatstenen, en voegen die opgevuld zijn met voegvullingsmateriaal. Open verhardingen zijn verhardingen uit losse, ongebonden materialen (De Cauwer, 2013).

Halfopen en open verhardingen zijn omwille van het groot aandeel open ruimte, gevoelig voor veronkruiding. Een overmaat aan onkruiden schaadt het straatbeeld; het komt over als onesthetisch en scheidt een beeld van een stad in verval. Ze brengt schade toe aan de verharding en beperkt haar technische levensduur (doorgaans 20 jaar). Tenslotte brengt overmatige onkruidgroei de veiligheid van de weggebruiker in het gedrang; verkeersborden of – lichten worden onttrokken aan het zicht en verhardingen worden gladder hetzij rechtstreeks, door de aanwezigheid van onkruiden, hetzij onrechtstreeks door wateraccumulatie als gevolg van plantengroei (via verminderde run-off van neerslagwater en verlaagde waterdoorlatendheid). Een overmaat aan onkruiden op verhardingen is dus ongewenst en dient bestreden te worden (Benvenuti, 2004; De Cauwer *et al.*, 2011). In een stedelijke omgeving worden halfopen verhardingen, en dan voornamelijk bestrating met betonstraatstenen, veelvuldig toegepast. Deze bestrating is onkruidgevoelig aangezien de aanwezige voegen vatbaar zijn voor vuilopstapeling en onkruidgroei (OCW, 2009; Boonen *et al.*, 2013).

2.1.2. Onkruidflora op verhardingen

Om onkruiden goed te bestrijden moet de onkruidflora gekend zijn. Onkruiden worden op verschillende manieren ingedeeld.

De onkruidflora op verhardingen bestaat vooral uit persistente, meerjarige planten met grote ondergrondse opslagorganen als rhizomen, worteluitlopers en penwortels (Fagot *et al.*, 2011). Daarnaast treffen we enkele éénjarige onkruiden aan. Het gaat hier vooral om soorten met snelle generatieve reproductie en een korte kiemingstijd (De Cauwer, 2013). De meest voorkomende plantensoorten op Vlaamse verhardingen zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Meest voorkomende onkruiden in Vlaanderen (naar Fagot *et al.*, 2011)

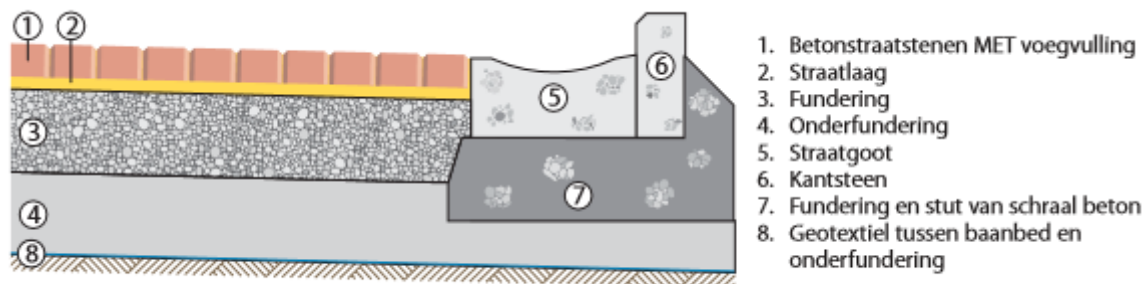
Latijnse naam	Nederlandse naam	Groeicyclus
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	Canadese fijnstraal	één- tot tweejarig
<i>Plantago major</i> L.	Grote weegbree	meerjarig
<i>Poa annua</i> L.	Straatgras	éénjarig tot meerjarig
<i>Sagina procumbens</i> L.	Liggende vetmuur	meerjarig
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	Paardenbloem	meerjarig

Naast bovenvermelde hogere planten zijn er ook lagere planten (zoals mossen, korstmossen en algen) aanwezig. In een studie van Fagot *et al.* (2011) werden mossen aangetroffen in 95% van de onderzochte verhardingen. Desondanks hebben mossen slechts een geringe invloed op de publieke perceptie van de netheid van de verharding. Dit komt omdat mossen nauwelijks in de hoogte groeien.

De soortensamenstelling en groei van de onkruidflora is afhankelijk van de betredingsintensiteit, de waterstatus en de nutriëntenrijkdom (Benvenuti, 2004; Fagot *et al.*, 2011; De Cauwer, 2013). Betreding van verhardingen zorgt voor een verminderde onkruidgroei maar begunstigt het voorkomen van tredplanten zoals *Polygonum aviculare* L., *P. major* en *P. annua* (Warwick, 1979; De Cauwer, 2013). In stedelijke gebieden is het warmer en droger dan op het platteland wat voordelig is voor C₄ planten zoals onkruidgiersten (voornamelijk *Digitaria* spp.) en droogte tolererende soorten zoals *T. officinale* (Stewart-Wade, 2002; De Cauwer, 2013). Er kan in verhardingen ook een hogere concentratie aan nitraat voorkomen, hetgeen stikstofminnende soorten begunstigt (Benvenuti, 2004).

2.1.3. Geïntegreerd onkruidbeheer

Mits verhardingen met de juiste materialen en op de juiste manier gebouwd zijn (zie standaard opbouw in Fig. 1) en regelmatig geveegd worden, kan onkruidgroei voor lange tijd voorkomen of beperkt worden. Bij het aanleggen van nieuwe halfopen verhardingen wordt vanuit het standpunt van onkruidpreventie best gekozen voor een straatlaag met een hoge permeabiliteit met daarboven stenen met nauwe voegen die opgevuld zijn met fijnkorrelige voegvulling (zie sectie 2.1.3.1). Om de voegen nauw te houden in de tijd, en zo onkruidgroei te voorkomen, worden kantstenen geplaatst (Boonen *et al.* 2013; De Cauwer *et al.*, 2013b).



Figuur 1: Opbouw van een verharding (Boonen *et al.*, 2013).

Tegen overmatige onkruidgroei zal evenwel curatief ingegrepen worden (zie sectie 2.1.3.2). Hierbij brengt men de onkruidbedekking terug tot onder een vooraf ingestelde onkruidtolerantiedrempel.

Om de milieu-impact (zie sectie 2.2.4) en de kosten van onkruidbeheer te beperken, dient onkruidgroei op een duurzame en geïntegreerde wijze beheerst te worden, gebruikmakend van beheersingssystemen. Geïntegreerde onkruidbestrijding steunt op de oordeelkundige, gecombineerde inzet van zowel preventieve als curatieve technieken waarbij verschillende curatieve methoden afwisselend ingezet worden op een wijze die de bestrijdingsfrequentie (aantal curatieve ingrepen per seizoen) op korte en lange termijn minimaliseert en floraverschuiving voorkomt (zie sectie 2.2.3.1.1) (Rask & Kristoffersen, 2007; Fagot *et al.*, 2011; De Cauwer *et al.*, 2013a).

2.1.3.1. Preventieve maatregelen

De opbouw van verhardingen beïnvloedt de mate van onkruidgroei en soortensamenstelling aangezien het de beschikbaarheid van de groeifactoren, water en nutriënten beïnvloedt. Voegvulling, voegbreedte en de straatlaag zijn belangrijke constructiefactoren die onkruidgroei beïnvloeden (Benvenuti, 2004; C. Kempenaar *et al.*, 2006; Fagot *et al.*, 2011; De Cauwer *et al.*, 2013b).

- Voegvulling: brede voegen vult men best met materiaal met een grove structuur (korrelgroottes > 2 mm) zodat er weinig plantbeschikbaar water aanwezig is. De Cauwer *et al.*

(2013b) vonden een 74% lagere onkruidbezetting in voegen met grofkorrelig porfier dan in voegen met fijn wit zand. Wanneer er nauwe voegen zijn, worden deze het best met fijner materiaal opgevuld. Zo wordt de structuur van de verharding beter behouden.

Naast de conventionele, ongebonden materialen bestaan er ook talrijke innovatieve materialen (o.a. zoutverrijkte zanden, zanden met biologische bindmiddelen, harsgebonden zanden, polymeerzanden, cementgebonden mortels en harsgebonden mortels) die speciaal ontwikkeld zijn om onkruidgroei te voorkomen of te reduceren (OCW, 2006; De Cauwer *et al.*, 2013b).

- Voegbreedte: kleine voegen zijn minder veronkruid dan grote voegen aangezien ze minder ruimte bieden en bijgevolg minder plantbeschikbaar water en nutriënten bevatten (Kempenaar *et al.*, 2006; Fagot *et al.*, 2011; Boonen *et al.*, 2012; De Cauwer *et al.*, 2013b).
- Straatlaag: de straatlaag kan gesloten of open zijn afhankelijk van het gebruikte materiaal. Indien het materiaal een open structuur (d.w.z. dat fijne korrelgroottes < 2 mm ontbreken) heeft, zoals gemalen porfier, is dit een open straatlaag. Een gesloten straatlaag bestaat uit fijnkorrelig materiaal zoals gemalen kalksteen en is minder permeabel. Verhardingen op een open straatlaag zullen minder onkruiden bevatten dan verhardingen op een gesloten straatlaag doordat er minder plantbeschikbaar water aanwezig is (De Cauwer *et al.*, 2013b).

Fagot *et al.* (2011) tonen aan dat het steentype ook een, hoewel niet echt grote, invloed heeft op de veronkruiding. Ze vonden dat het percentage voegbedekking door onkruiden bij kleiklinkers 18% bedroeg terwijl dit bij betonklinkers (klassieke of poreuze) slechts 10% was.

Een opkomende trend is de aanleg van waterdoorlatende verhardingen. Deze verhardingen zijn in vergelijking met klassieke verhardingen meer waterdoorlatend waardoor minder run-off optreedt. De verhoogde permeabiliteit steunt op een hoger voegpercentage (o.a. bij betonstraatstenen met verbrede voegen of met drainageopeningen) of op doorlatendheid van de steen op zich (bij poreuze betonstraatstenen). Verhardingen met een hoog voegaandeel (stenen met verbrede voegen) of een hoog percentage open ruimte (stenen met drainageopeningen) zijn erg gevoelig voor veronkruiding. Dit geldt niet voor verhardingen met poreuze stenen waarbij de hoge permeabiliteit te wijten is aan de permeabiliteit van de steen zelf (De Cauwer *et al.*, 2013a).

Een andere factor die de mate van veronkruiding beïnvloedt, is organische vervuiling; naarmate voegvullingen meer organisch vervuild zijn, zijn ze meer veronkruid. Zo waren verhardingen met brede voegen met organisch vervuilde voegvulling 17 tot 647% meer veronkruid dan diezelfde verhardingen zonder organisch vervuilde voegvulling. Preventief veegbeheer waarbij het organisch materiaal regelmatig verwijderd wordt, kan de onkruiddruk bijgevolg sterk verminderen (Boonen *et al.*, 2012; De Cauwer *et al.*, 2013b).

2.1.3.2. Curatieve maatregelen

Curatieve methoden worden ingezet om reeds aanwezige onkruiden onder controle te houden. Het is hierbij niet de bedoeling om alle onkruiden te doden maar wel om de onkruidgroei onder een vooraf ingestelde veronkruidingslimiet of tolerantiedrempel te houden. De veronkruidingslimiet wordt courant uitgedrukt als een beeldscore. De beeldscore weerspiegelt de perceptie van de burger ten aanzien van de netheid van de verharding en houdt rekening met de mate van veronkruiding (bedekking van het oppervlak door onkruiden) en de gemiddelde hoogte van de aanwezige onkruiden. Elke plaats in Vlaanderen heeft een vastgelegde beeldscore, ingesteld door de groenambtenaar, die niet overschreden mag worden. Bij overschrijding van deze tolerantiedrempel zal curatief ingegrepen worden (Fagot *et al.*, 2011; Boonen *et al.*, 2013).

Curatieve methoden kunnen volleelds of selectief toegepast worden. Bij selectieve toepassing wordt gebruik gemaakt van onkruiddetectiesensoren. Het gaat hierbij om reflectiesensoren waarbij de reflectie uit verschillende gebieden van het spectrum (het kleurenspectrum en het nabij-infrarood spectrum) gemeten wordt. Hierbij kunnen onkruiden gedetecteerd worden dankzij hun specifieke hoge reflectie in het groene en nabij-infrarood spectrum en hun lage reflectie in het rode spectrum t.o.v. kale grond (Gerhards & Christensen, 2003; De Cauwer, 2013).

2.1.3.2.1. Chemische bestrijding en het wettelijk kader hierrond

Onkruiden op verhardingen werden vaak chemisch bestreden aangezien herbiciden goedkoper en effectiever in te zetten zijn dan niet-chemische bestrijdingstechnieken (Saft, 2002; Vermeulen *et al.*, 2006). Wanneer onkruiden chemisch bestreden worden, zijn hiervoor gemiddeld 1.3 tot 2.5 behandelingen nodig per jaar, terwijl niet-chemische bestrijdingstechnieken gemiddeld 3.1 tot 4.8 keer toegepast moeten worden (Saft & Staats, 2002; Kempenaar & Saft, 2006; Vermeulen *et al.*, 2006; Rask *et al.* 2013). Op jaarbasis komen de kosten voor chemische bestrijding van onkruiden gemiddeld op 3.3 tot 10 eurocent m⁻² en voor niet-chemische bestrijding gemiddeld op 2.5 tot 38 eurocent m⁻² (Saft & Staats, 2002; Kempenaar & Saft, 2006).

De chemische bestrijding van onkruiden op verhardingen in Vlaanderen door gemeenten en andere openbare besturen steunde tot voor kort voornamelijk op glyfosaat (78% van het totale gebruikte gewicht aan werkzame stoffen in 2012). Andere frequent gebruikte werkzame stoffen zijn oxadiazon en MCPA met respectievelijk een gewichtsandaal van 7 en 4% van het totaal gebruik aan werkzame stoffen (VMM, 2014).

Heden ligt het herbicidegebruik op verhardingen in de meeste Europese landen zwaar onder druk, ondanks zijn klein aandeel in het totale herbicidegebruik, namelijk 0.2-2.7%¹ (Kristoffersen *et al.*, 2007a). Dit komt omdat de emissie naar het oppervlaktewater bij herbicidegebruik op verhardingen veel hoger is dan bij herbicidegebruik op niet verharde terreinen (o.a. landbouw) (Ramwell, 2005). Uit een onderzoek uitgevoerd in Duitsland bleek dat 0.2 tot 0.9% van de gebruikte herbiciden voor niet-landbouw doeleinden in het oppervlaktewater terecht kwam terwijl dit voor herbiciden voor landbouwgebruik slechts 0.05% was. Een gelijkaardig onderzoek uitgevoerd in Zwitserland toonde aan dat minder dan 2/5 van het glyfosaat in het oppervlaktewater afkomstig was van landbouwpraktijken (Skark *et al.*, 2004; Hanke *et al.*, 2010).

Omwille van de bezorgdheid over de (overmatige) aanwezigheid van pesticiden in het oppervlakte- en drinkwater probeert men in verschillende Europese landen het herbicidegebruik op verhardingen te verminderen (Kristoffersen *et al.*, 2007a). De Europese Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG) onderkent de noodzaak van maatregelen die erop gericht zijn een achteruitgang op lange termijn van kwantiteit en kwaliteit van de zoetwatervoorraden te voorkomen. De lidstaten moeten de wateren aanwijzen die voor de onttrekking van drinkwater worden gebruikt en zorgen dat de kwaliteitsnormen worden bereikt in overeenstemming met de richtlijn “betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water” (80/778/EEG). In de aangewezen wateren moeten volgende drinkwaternormen behaald worden: de concentratie aan bestrijdingsmiddelen moet lager zijn dan 0.1 µg L⁻¹ per afzonderlijk bestrijdingsmiddel en het totaal van alle bestrijdingsmiddelen moet onder 0.5 µg L⁻¹ blijven (RICHTLIJN 1980; RICHTLIJN 2008).

Hierna wordt kort de regelgeving in België voor herbicidentoepassingen op verhardingen toegelicht.

In Vlaanderen verbiedt het decreet van 21 december 2001 “houdende vermindering van gebruik van bestrijdingsmiddelen voor openbare diensten in het Vlaamse Gewest” (het pesticidenreductiedecreet)

¹ Dit percentage hoort bij de onderzochte landen: Denemarken, Duitsland, Finland, Letland, Nederland, het Verenigd Koninkrijk en Zweden.

sinds 1 januari 2004 het gebruik van bestrijdingsmiddelen in openbare gebieden, terreinen die door de overheid gebruikt worden, terreinen die deel uitmaken van de weg of erbij horen en in natuur-, bos- en kwetsbare gebieden. Anno 2012 resulteerde de toepassing van dit decreet in een reductie van het totaal pesticidengebruik met 60% t.o.v. het verbruik in 2003 (steekproefresultaten gebaseerd op 127 gemeenten) (DECREET 21 december, 2001; VMM, 2014).

Sinds 1 januari 2015 is het decreet van 8 februari 2013 “houdende duurzaam gebruik van pesticiden in het Vlaams Gewest” in werking. Het vorige decreet (van 21 december 2001) wordt hiermee verder aangescherpt en het toepassingsgebied verruimt. Het gaat over gebieden die door het brede publiek en kwetsbare groepen gebruikt worden en beschermde gebieden, zoals pretparken en bedrijventerreinen, waarbij de focus ligt op bescherming van grondwater, natuur en bossen (DECREET 8 Februari, 2013; VMM, 2014).

Van het verbod kan enkel afgeweken worden onder strikte voorwaarden, bijvoorbeeld als er geen afdoende, niet-chemische bestrijdingswijzen voorhanden zijn bij plagen of situaties die een gevaar inhouden voor mens of milieu of wanneer een pesticidenvrij beheer onevenredig hoge kosten met zich meebrengt (VMM, 2014).

In Wallonië geldt vanaf 1 juni 2014 een verbod op het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen in openbare ruimten. Onder bepaalde voorwaarden en met een reductieprogramma kan van het verbod afgeweken worden en zijn gewasbeschermingsmiddelen toegelaten tot 31 mei 2019 (DECREET 10 juli, 2013).

Ook in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest geldt een verbod op gewasbeschermingsmiddelen waarvan men kan afwijken met een reductieprogramma tot uiterlijk 31 december 2018 (ORDONNANTIE 20 juni, 2013).

2.1.3.2.2. Niet-chemische bestrijdingstechnieken

Als alternatief voor chemische bestrijding worden niet-chemische onkruidbestrijdingstechnieken voorgesteld. Deze technieken hebben enkele nadelen ten opzichte van chemische bestrijding: een lage bestrijdingseffectiviteit, een lage productiviteit en een hoog energieverbruik. Deze technieken moeten vaker worden toegepast en zijn minder kosten-efficiënt dan het gebruik van herbiciden (Vermeulen *et al.*, 2006; Rask & Kristoffersen, 2007; Boonen *et al.*, 2013; Rask *et al.*, 2013).

Werkingswijze

Niet-chemische bestrijdingstechnieken worden ingedeeld in thermische en mechanische technieken.

Thermische technieken

In tegenstelling tot herbiciden die de volledige plant kunnen doden, werken thermische technieken (uitgezonderd elektrocutie) enkel in op de bovengrondse delen van de plant. Plantenweefsel wordt direct of indirect verhit waardoor eiwitten denatureren en cellen gaan lekken (zie sectie 2.2.1) (Boonen *et al.*, 2013).

De meest gebruikte thermische technieken ingezet op verhardingen zijn branden, heet water, stomen en hete lucht. Daarnaast zijn er verschillende technieken in ontwikkeling zoals elektrocutie, bevroren en radiatie (laser-, UV-, IR-radiatie en microgolven).

Het verschil in werkwijze zit in de manier waarop warmte wordt overgedragen naar de plant. De warmteoverdracht gebeurt door convectie² (branden en hete lucht), straling³ (radiatie), condensatie⁴ (stoom) of geleiding⁵ (heet water) (Rask & Kristoffersen, 2007; Boonen *et al.*, 2013).

Mechanische technieken

Mechanische technieken snijden of maaien de bovengrondse delen van het onkruid af. De voornaamste technieken zijn vegen en borstelen. Deze technieken hebben naast hun curatieve werking ook een preventieve werking. Indien het veeg- en borstelafval verwijderd wordt (bv. met veeg/zuig-combinaties of borstel/zuig-combinaties), wordt de onkruidgroei getemperd en zijn minder curatieve behandelingen vereist (Hansen *et al.* 2004; Rask & Kristoffersen, 2007; Fagot *et al.*, 2011).

Bestrijdingsfrequentie

De behandelingsfrequentie (aantal beurten per groeiseizoen) vereist voor beheersing van onkruidgroei tot onder de tolerantiedrempel is afhankelijk van de effectiviteit van de techniek, de mate van veronkruiding, de onkruidsamenstelling, het fenologisch stadium van de onkruiden, de gekozen tolerantiedrempel, de weersomstandigheden en het type verharding. Eenzijdige toepassing van een techniek leidt tot een floraverschuiving waarbij er meer onkruiden voorkomen die tolerant zijn voor die specifieke techniek (zie sectie 2.2.3.1.1). De behandelingsfrequentie zal bijgevolg groter zijn in een systeem met eenzijdige toepassingen dan in een systeem waarin verschillende methoden afgewisseld worden (Hansen *et al.*, 2004; Rask & Kristoffersen, 2007; Rask *et al.*, 2013).

Bij Kristoffersen *et al.* (2007b) en Rask *et al.* (2013) werden vijf niet-chemische technieken (branden, hete lucht, stoom, heet water en borstelen) met elkaar vergeleken. Het aantal toepassingen was gekozen volgens resultaten van Hansen *et al.* (2004). Voor branden, hete lucht en stoom was dit 8 keer per jaar en voor heet water en borstelen 4 keer per jaar. De dosis die toegediend werd, is vergelijkbaar met wat in de praktijk gebruikt wordt. De efficiëntie werd afgeleid uit oppervlaktebedekking met onkruiden (in %). In deze studie bleek behandeling met heet water, hoewel niet significant beter dan hete lucht of stomen, het efficiëntst en significant beter dan branden of borstelen.

Rask *et al.* (2013) bepaalden het vereiste aantal behandelingen om de oppervlaktebedekking met onkruiden onder 2% te houden. Voor branden, hete lucht en stoom waren 4 tot 7 behandelingen nodig, voor heet water slechts 3.

Soortgelijke studies zijn onder andere uitgevoerd door De Cauwer *et al.* (2013a). Verschillende scenario's waaronder het alternerend inzetten van borstelen + hete lucht enerzijds en eenzijdig toepassen van borstelen, hete lucht, selectief toepassen van heet water en branden anderzijds, werden zodanig toegepast dat de tolerantiedrempel voor onkruidbedekking niet overschreden werd (oppervlaktebedekking door onkruid van 6, 3 en 2% voor respectievelijke planthoogtes van < 1, 1-3 en > 3 cm). De energiedosissen werden zo gekozen dat ze de oppervlaktebedekking door onkruiden met 80% reduceerden. Met heet water waren het minst aantal behandelingen nodig (1 tot 9 behandelingen over 2 jaar t.o.v. 1 tot 14 behandelingen met alternatieve scenario's, afhankelijk van het type verharding) waarbij het verschil in behandelingsfrequentie tussen de verschillende scenario's kleiner was in het 2^e behandelingsjaar.

Vermeulen *et al.* (2006) onderzochten de frequenties voor branden, borstelen en heetwaterbehandeling nodig om onder klasse 3 (een voegbedekking met onkruiden tussen de 5 en

²Convectie: energie uitwisseling tussen een vast oppervlak en een bewegend fluïdum (gas- of vloeistofstroom).

³Straling: hoog energetische straling die uitgezonden wordt door een warm lichaam.

⁴Condensatie: energie vrijstelling (latente warmte) door de faseovergang (van gasvormige fase naar vloeistoffase) van een medium.

⁵Geleiding: energie uitwisseling binnen één medium of tussen 2 stilstaande media die contact maken (vaste stoffen of vloeistoffen).

25%) te blijven. Hier waren de dosissen zo gekozen dat de oppervlaktebedekking door onkruiden met 95% gereduceerd werd. Heet water (3 tot 6 behandelingen nodig) was ongeveer even effectief als branden (3 tot 5 behandelingen nodig). Voor borstelen waren 4 tot 6 behandelingen nodig.

Astatkie *et al.* (2007) vergeleken heet water, branden en een combinatie van branden en IR-radiatie (IR-techniek genoemd) bij verschillende werksnelheden waarbij steeds het percentage aan dode planten berekend werd. Heet water werd toegepast aan snelheden van 1, 1.5, 2.5 en 3.5 km u⁻¹ en de overige technieken aan 1.5, 2.5 en 3.5 km u⁻¹. Bij deze snelheden varieerde de energie-input voor heet water van 583 MJ ha⁻¹ (bij 3.5 km u⁻¹) tot 2041 MJ ha⁻¹ (bij 1 km u⁻¹), voor de IR techniek van 3887 MJ ha⁻¹ (bij 3.5 km u⁻¹) tot 8602 MJ ha⁻¹ (bij 1.5 km u⁻¹) en voor branden van 837 MJ ha⁻¹ (bij 3.5 km u⁻¹) tot 1953 MJ ha⁻¹ (bij 1.5 km u⁻¹). Aan de verschillende snelheden gaven het branden 8-100% en de IR techniek 63-100% dode planten. De heet water techniek gaf slechts 0-48% dode planten en bleek dus het minst effectief. Er moet wel vermeld worden dat de rijsnelheid van de heet water techniek misschien te hoog was om goede resultaten te behalen. Zoals verder besproken wordt, resulteert een lagere rijsnelheid in een hogere energiedosis en bijgevolg beter bestrijdingsresultaat.

2.2. Gevalstudie: onkruidbestrijding met heet water

2.2.1. Werkingswijze

Met heet water wordt het plantenweefsel rechtstreeks verhit met als doel planten te doden of uit te putten (Vanhala *et al.*, 2004; Rask & Kristoffersen, 2007; Boonen *et al.*, 2013).

Het doden van een plant vereist het doden van de plantenweefsels en de groeipunten door deze te verhitten tot aan de letale weefseltemperatuur. De letale weefseltemperatuur hangt af van de atmosferische omstandigheden en biologische factoren zoals plantensoort en leeftijd en ligt tussen de 40 en 60°C (Berkley & Berkley, 1933; Vanhala *et al.*, 2004; Boonen *et al.*, 2013).

Plantenweefsel dat tot deze temperatuur verhit wordt, ondervindt structurele veranderingen. Er treedt desintegratie van de celmembraan op door het breken van zwakke bindingen en er vindt eiwitdenaturatie plaats met als gevolg dat de cellen lekken en uitdrogen. Dit resulteert uiteindelijk in de vorming van necrosevlekken (Daniell *et al.*, 1969; Boonen *et al.*, 2013).

Bij subletale verhitting van weefsels is er geen zichtbare schade. De plant sterft weliswaar niet maar ondervindt enige groeiremming doordat de celfunctionaliteit verstoord wordt (Boonen *et al.*, 2013).

Om het plantenweefsel te verhitten moet warmte overgedragen worden op de plant en verder doordringen in de plantenweefsels. De **warmteoverdracht Q** (J) hangt volgens de wet van Fourier af van het bladoppervlak A (m²), het temperatuurverschil tussen het hete water en het bladoppervlak ΔT (K) en de warmtegeleidingscoëfficiënt λ (W m⁻¹ K⁻¹) (formule1) (Pieters, 2010) .

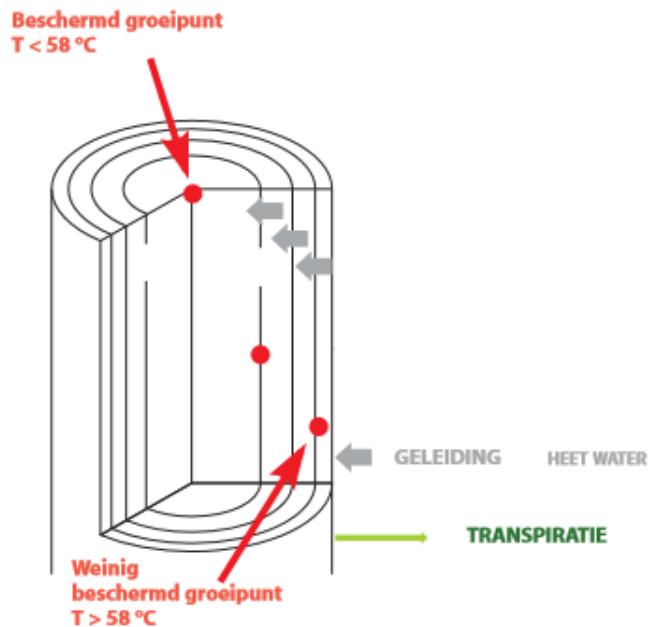
$$Q \sim A \Delta T \lambda$$

formule 1

De overdracht van warmte vanuit de heetwaterfilm naar het plantoppervlak en de warmteoverdracht in de plant zelf gebeurt door middel van geleiding (zie Fig. 2). Hoe groter het bladoppervlak, het temperatuurverschil en de warmtegeleidingscoëfficiënt, hoe groter de warmteoverdracht. Heet water heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0.682 W m⁻¹ K⁻¹, wat groter is dan deze van hete lucht (0.030 W m⁻¹ K⁻¹) en stoom (0.025 W m⁻¹ K⁻¹). De warmtegeleidingscoëfficiënt geeft de hoeveelheid warmte (J) per K en per m weer die door geleiding getransporteerd wordt per seconde (Boonen *et al.*, 2013).

Onkruiden moeten voor een voldoende lange periode verhit worden aangezien de warmteoverdracht door geleiding met een relatief trage snelheid gebeurt (Vanhala *et al.*, 2004).

Enmalige behandeling met heet water zorgt meestal niet voor het doden van goed gevestigde planten maar kan, indien goed gedoseerd, oppervlakkig gelegen groeipunten en bovengronds gelegen plantenweefsel doen afsterven. Vanuit de dieper gelegen, intacte groeipunten van de plant zal de groei van het onkruid hervat worden. Deze hergroei vergt echter wel veel energie van de plant. Door de plant herhaaldelijk met heet water te behandelen, wordt de plant steeds verder uitgeput (De Cauwer, 2013).



Figuur 2: Warmteoverdracht naar en in de plant bij het toepassen van heet water (De Cauwer, 2013).

2.2.2. Optimalisatie van de werking

Omdat onkruidbestrijding met heet water in vergelijking met chemische bestrijding een hoog energieverbruik en een hoge kostprijs heeft (o.a. door een lagere bestrijdingseffectiviteit en lagere productiviteit, zie sectie 2.1.3.2.2) willen we deze techniek optimaliseren. Het optimaliseren van deze techniek komt neer op het verhogen van de eco-efficiëntie (een lager energiegebruik voor een gelijke onkruidbestrijding) (Saft & Staats, 2002; Boonen *et al.*, 2013).

De eco-efficiëntie kan verhoogd worden door te onderzoeken wanneer en in welke omstandigheden heetwaterbehandeling het effectiefst is. Alleen op deze manier kan men besparen op het aantal bestrijdingsbeurten. Indien het verlagen van het aantal bestrijdingsbeurten zorgt voor een lagere cumulatieve energiedosis (afhankelijk van de energiedosis per beurt) zal dit minder energieverbruik en een lagere kost betekenen (Rask & Kristoffersen, 2007; Rask *et al.*, 2013; De Cauwer *et al.* 2014).

Het energieverbruik en milieuaspecten worden verder besproken (zie sectie 2.2.4).

2.2.3. Invloedsfactoren

De bestrijdingseffectiviteit van heet water wordt beïnvloed door verschillende factoren die ingedeeld kunnen worden in biologische, abiotische en technische factoren. Een andere factor die invloed heeft op de bestrijdingseffectiviteit is het tijdstip van bestrijding.

2.2.3.1. Biologische factoren

De heetwatergevoeligheid van planten wordt beïnvloed door biologische factoren als beharing, ligging van de groeipunten of meristemen, dikte van de cuticula etc. Dergelijke biologische factoren liggen aan de basis van intra-en interspecifieke verschillen in gevoeligheid ten aanzien van hitte.

2.2.3.1.1. Soort

Hansson & Ascard (2002) vonden dat een eenmalige hittebehandeling de meeste éénjarige en jonge meerjarige onkruiden doodt maar oudere meerjarige onkruiden meerdere behandelingen nodig hebben. Meerjarige onkruiden hebben immers vaak ondergrondse vegetatieve structuren met veel reservevoedsel van waaruit de groei snel hervat kan worden, zoals bv. de vlezige penwortel van paardenbloem (*T. officinale*) of de rhizomen van paardenstaarten (*Equisetum* spp.). Dergelijke ondergrondse reserveorganen worden door heet water niet geraakt (zie sectie 2.1.3.2.2, Werkingswijze) (Stewart-Wade *et al.*, 2002; De Cauwer *et al.*, 2013a).

In een onderzoek van Leon & Ferreira (2008) waarbij handjesgras (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), *Helminthotheca echioides* (L.) Holub, klein kaasjeskruid (*Malva neglecta* Wallr.), postelein (*Portulaca oleracea* L.), madeliefje (*Bellis perennis* L.), Engels raaigras (*Lolium perenne* L.) en witte klaver (*Trifolium repens* L.) behandeld werden met stoom, was er een visuele schade (dwerggroei, chlorose en necrose) van 23 tot 81% voor de verschillende soorten. *Cynodon dactylon*, *M. neglecta* en *L. perenne* toonden de meeste visuele schade terwijl *P. oleracea* en *B. perennis* beperkte schade toonden.

De grotere hittetolerantie van grassen in vergelijking met breedbladige onkruiden is eerder te wijten aan hun capaciteit tot hergroei vanuit vegetatieve reproductiestructuren of beschermde groeipunten dan aan de capaciteit van hun bladweefsel om beschadiging door hitte te weerstaan (Ascard, 1995a).

Zoals eerder vermeld (zie sectie 2.1.3.2.2, Bestrijdingsfrequentie), resulteert het herhaald gebruik van eenzelfde niet-chemische techniek in floraverschuiving. Uit een studie van Fagot *et al.* (2011) bleek dat continue toepassing van thermische bestrijding éénjarige monocotylen bevoordeelde in vergelijking met chemische bestrijding of geen bestrijding en dat verhardingen met thermische bestrijding geassocieerd zijn met onkruiden met beschermde groeipunten zoals *S. procumbens* en *P. annua*. De Cauwer *et al.* (2013a) vonden dat *T. officinale* 1.2 tot 2.0 meer voorkwam na heetwaterapplicatie dan wanneer hete lucht of branden werd toegepast.

2.2.3.1.2. Groeistadium

Volgens Hansson & Ascard (2002) heeft het ontwikkelingsstadium van het te bestrijden onkruid een enorme invloed op de effectiviteit van een heetwaterbehandeling. Hoe ouder de plant, hoe groter de benodigde energiedosis om een vergelijkbaar bestrijdingsresultaat te bekomen. Volgens hun experiment was de LD₉₀ (energie nodig om 90% van de planten af te doden) 2.7 keer hoger voor planten in het 6-bladstadium dan in het 2-bladstadium en de ED₉₀ (energie nodig om 90% reductie in vers gewicht te bekomen) 2.9 keer hoger.

Voor zowel grote als kleine planten was de LD₉₀ groter dan de ED₉₀. Het was dus moeilijker om het aantal levende planten te reduceren dan om het vers gewicht te reduceren. Dit komt doordat subletale temperaturen onkruiden schaden en een reductie in vers gewicht veroorzaken zonder de planten te doden (zie 2.2.1). Indien planten in een 2- tot 4-bladstadium behandeld werden, was het verschil in % tussen LD₉₀ en ED₉₀ groter dan indien planten in een 6-bladstadium behandeld werden (16% t.o.v. 8%). Bij kleinere planten (2- tot 4-bladstadium) was er dus meer energie nodig om over te gaan van een reductie in vers gewicht van 90% tot het afdoden van 90% van de planten dan bij grote planten (6-

bladstadium). Dit wil zeggen dat bij een behandeling die resulteert in 90% reductie in vers gewicht relatief meer kleine planten overleven (Ascard, 1994; Hansson & Ascard, 2002; Hansson & Mattsson, 2002).

In een onderzoek van Leon & Ferreira (2008) waarbij stoom werd toegepast op verschillende onkruiden (*C. dactylon*, *H. echioides*, *M. neglecta*, *P. oleracea*, *B. perennis*, *L. perenne* en *T. repens*) in verschillende ontwikkelingsstadia, waren planten met 3 tot 5 bladeren gevoeliger dan planten met 6 of meer bladeren. Grotere planten hadden minder weefselschade omwille van het paraplu-effect (zie sectie 2.2.3.1.6) en doordat bij oudere planten met laterale groeipunten de groei hervat kan worden indien deze groeipunten niet beschadigd zijn (zie sectie 2.2.3.1.3). De verschillen in schade tussen de stadia waren kleiner bij grassen dan bij de andere onkruiden.

De grotere gevoeligheid van onkruiden in een vroeg ontwikkelingsstadium komt doordat, naast het paraplu-effect, oudere plantenweefsels een dikkere waslaag en een hogere graad van lignificatie hebben (Ascard, 1995b).

Ook uit een onderzoek van De Cauwer *et al.* (2014), waarbij heetwaterbestrijding toegepast werd op zeven soorten onkruiden (*P. annua*, *C. canadensis*, *T. officinale*, *P. major*, *T. repens*, *Cerastium fontanum* subsp. *vulgare* en *L. perenne*) bleek dat het effect van het ontwikkelingsstadium op de heetwatergevoeligheid soortafhankelijk is. Het ontwikkelingsstadium had een groot effect op de gevoeligheid van *C. fontanum*, *C. canadensis* en *T. officinale* maar niet voor *P. major*, *L. perenne* en *P. annua*. *Conyza canadensis* planten van 39 dagen oud waren 2 en 4 keer gevoeliger dan planten van respectievelijk 60 en 81 dagen oud. *Cerastium fontanum* en *T. officinale* planten van 39 dagen oud waren dubbel zo gevoelig dan planten van 81 dagen oud.

Algemeen zijn onkruiden gevoeliger in een vroeg ontwikkelingsstadium en wordt een thermische behandeling dus het best zo vroeg mogelijk uitgevoerd.

2.2.3.1.3. Ligging van de groeipunten

De reactie van onkruiden op thermische behandeling is soortspecifiek en wordt in de eerste plaats bepaald door de ligging van de groeipunten. Planten zullen namelijk enkel sterven indien alle groeipunten tot boven de letale temperaturen worden verhit. Indien dit niet het geval is kan groei hervat worden vanuit de onbeschadigde groeipunten, zelfs wanneer de hoofdas van de plant beschadigd is (Ascard, 1995a; Hansson & Ascard, 2002; Leon & Ferreira, 2008).

Aangezien thermische behandeling enkel invloed heeft op de bovengrondse plantendelen (zie sectie 2.1.3.2.2, Werkingswijze) zijn soorten met beschermde groeipunten die dicht tegen of onder het bodemoppervlak gelegen zijn, zoals *P. annua*, *P. major* en *T. officinale*, minder gevoelig dan soorten met onbeschermde groeipunten zoals *Chenopodium album* L., *Stellaria media* (L.) Vill. en *Urtica urens* L. (Hawthorn, 1974; Ascard, 1995a; Leon & Ferreira, 2008).

2.2.3.1.4. Bladmorfologie

De bladmorfologie beïnvloedt eveneens de heetwatergevoeligheid van een plantensoort. Uit Leon & Ferreira (2008) bleek dat de variatie in visueel vastgestelde schade (dwerggroei, chlorose en necrose) over de testsoorten (*C. dactylon*, *H. echioides*, *M. neglecta*, *P. oleracea*, *B. perennis*, *L. perenne* en *T. repens*) heen het best (voor 51%) verklaard kon worden door de bladdikte. De gevoeligheid ten aanzien van stoom bleek invers gerelateerd aan de bladdikte. Onkruiden met een bladdikte boven de 500 µm, hadden een visuele schade van 35% of lager en deze met een bladdikte kleiner dan 300 µm hadden minstens 56% visuele schade.

Ook binnen eenzelfde plant of blad varieert de heetwatergevoeligheid in functie van de bladdikte. De dunnere delen van het blad (bv. de bladrand) vertonen sneller schade dan de dikkere delen (bv. de bladnerven) aangezien ze sneller verhit kunnen worden. Kiemlobben zijn minder gevoelig dan de dunne echte bladeren aangezien ze vaak dikker en vleziger zijn en bijgevolg minder gemakkelijk te verhitten zijn omwille van het kleiner oppervlak per gewichtseenheid (Lalor & Buchele, 1970; Rahkonen & Jokela, 2003; Leon & Ferreira, 2008).

De bladbreedte heeft, alleen indien enkel de breedbladige soorten in beschouwing genomen worden, ook een effect op de heetwatergevoeligheid van een soort; bredere bladeren ondervinden meer schade dan smallere bladeren. Uit Leon en Ferreira (2008) bleek dat de variatie in visuele schade (dwerggroei, chlorose en necrose) over de soorten heen (*H. echinoides*, *M. neglecta* en *B. perennis*) voor 64% door de bladbreedte bepaald werd. Brede bladeren zouden een groter oppervlak hebben, wat de warmteoverdracht bevordert. In deze studie is echter geen relatie gevonden tussen visuele schade en bladoppervlak. Bladeren met groot bladoppervlak zijn vaak ook lang en gebogen of zitten vast aan gebogen bladstelen, hetgeen de waterretentie vermindert.

Verder heeft ook de bladstand een invloed doordat dit de retentie van water mee bepaalt. Hoe meer energie de plant per oppervlakte-eenheid ontvangt, hoe meer energie overgedragen kan worden aan zijn weefsels. Planofiel-georiënteerde bladeren vertonen een grotere retentie en kunnen dus meer schade ondervinden. De Cauwer *et al.* (2014) vonden dat de gevoeligheid voor thermische behandelingen het hoogst was voor soorten met grote planofiel-georiënteerde bladeren (*C. canadensis* en *T. officinale*) en het laagst voor grassen met kleine erectofiel-georiënteerde bladeren (De Cauwer, 2013).

De heetwatergevoeligheid wordt niet beïnvloed door beharing. Dit in tegenstelling tot convectieve technieken, zoals hete lucht, waarbij een dichte bedekking met haren de warmtestroom kan inhiberen en voor een hogere tolerantie zorgt (Lalor & Buchele, 1970).

2.2.3.1.5. Celturgor

Een goede maat voor de celturgor van een blad is zijn relatieve water inhoud (blad RWC). De blad RWC is de ratio van de waterinhoud van het bladweefsel op een bepaald moment t.o.v. de waterinhoud bij volle turgor. Doordat de blad RWC afhankelijk is van vele factoren die veranderen gedurende de dag (luchttemperatuur, RV, lichtintensiteit), zal het ook een bepaald dagverloop kennen (zie sectie 2.2.3.4.1) (Ulloa *et al.*, 2012).

Uit een onderzoek van Ulloa *et al.* (2012) waarbij twee gewassen en twee soorten onkruiden op verschillende tijdstippen van de dag, en dus met verschillende blad RWC, behandeld werden met een brander bleek dat alle plantensoorten gevoeliger waren wanneer ze een lagere blad RWC hadden (behandeling 8 uren na zonsopkomst). Dit suggereert dat blad RWC een factor kan zijn die de heetwatergevoeligheid beïnvloedt.

Een korte periode van droogte voor het uitvoeren van een thermische behandeling zorgt voor waterstress bij de onkruiden en voor een lagere celturgor. Hansson & Mattsson (2003) behandelden onkruiden met waterstress met twee verschillende dosissen heet water en zagen dat behandelde onkruiden met waterstress een significant lager vers gewicht hadden dan behandelde onkruiden zonder waterstress en dat het verschil onafhankelijk was van de energiedosis. Hoe hoger de hoeveelheid water in bladweefsel, hoe meer energie vereist was om het plantenweefsel op te warmen tot boven de letale temperatuur. Een heetwaterbehandeling wordt dus het beste uitgevoerd na een kortstondige droogteperiode.

2.2.3.1.6. Bezettingsgraad

In een onderzoek van Ascard (1994) werden jonge planten van *Sinapis alba* L. cv. Gisilba (0- tot 6-bladstadium) met een lage en hoge plantdichtheid (respectievelijke zaaidichtheden van ongeveer 15 en 40 kg ha⁻¹) met een brander bestreden. De plantdichtheid had slechts een beperkte invloed op de benodigde brandstofdosering (LPG in kg ha⁻¹) om een bepaalde reductie in verse biomassa of levende planten te bekomen. Het bestrijdingsresultaat bleek niet af te hangen van de plantdichtheid zolang de groeipunten van de onkruiden niet door elkaar afgeschermd werden. Indien een paraplu-effect (zie ook 2.2.3.1.2) optrad, waren hogere dosissen noodzakelijk.

Hansson & Ascard (2002) behandelden onkruiden met een hoge plantdichtheid (gemiddelde onkruidhoogte van 50 – 100 mm en een oppervlaktebedekking van 100%) en een lage plantdichtheid (gemiddelde onkruidhoogte van 30 – 50 mm en een oppervlaktebedekking van 80 - 90%) met heet water en vonden dat de benodigde energiedosis (in kJ m⁻²) voor een 90%-reductie in oppervlaktebedekking (14 dagen na behandeling) 66% lager was bij lage plantdichtheid dan bij hoge plantdichtheid. Dit toont aan dat energie en water bespaard kunnen worden indien behandeld wordt bij een lagere onkruidbezetting.

2.2.3.2. Abiotische factoren

Naast biotische factoren zijn er ook een reeks abiotische factoren zoals luchttemperatuur, relatieve vochtigheid (RV), droogte en regen die de effectiviteit beïnvloeden. Deze weersomstandigheden beïnvloeden de effectiviteit op directe of indirecte (via wijziging van de plantmorfologie) wijze.

Hogere luchttemperaturen zorgen voor hogere bladtemperaturen. In dergelijke omstandigheden zijn lagere energiedosissen vereist om plantenweefsel te verhitten tot de letale temperatuur maar dit is slechts zichtbaar bij grote temperatuurverschillen. In een studie van Hansson & Mattsson (2003) waarbij onkruiden behandeld werden bij luchttemperaturen van 7°C en 18°C werd geen significant verschil waargenomen in ED₉₀ en de dosis-responscurves volgden elkaar nauw.

In dezelfde studie van Hansson & Mattsson (2003) werd ook het effect van regen onderzocht. Planten die net voor behandeling berekend werden met koud water (ongeveer 16°C) vereisten 21% meer energie voor een vergelijkbaar bestrijdingsresultaat dan planten die uitwendig droog stonden. Heetwaterbehandelingen zijn bijgevolg best te vermijden bij dauw en tijdens of kort na een regenbui.

Een korte periode van droogte voor het behandelen van onkruiden verlaagt de celurgor in de bladeren en verhoogt de gevoeligheid voor heet water (zie sectie 2.2.3.1.5). Voor een lange periode van droogte geldt echter het omgekeerde. Langdurige droogte kan de bladmorfologie van onkruiden wijzigen: bladeren ontwikkelen een dikkere cuticula en een sterke beharing. In dergelijke gevallen zijn hogere energiedosissen vereist voor afdoende bestrijding (Ascard, 1994; Hansson & Mattsson, 2003).

Een laatste abiotische factor die de effectiviteit van thermische behandelingen beïnvloedt is de relatieve vochtigheid (RV). Onkruiden, ongeacht hun leeftijd, zijn minder bestand tegen thermische behandelingen in waterverzadigde atmosfeer dan bij lage RV. Een hogere RV zorgt voor een lagere transpiratiesnelheid van de plant wat de afkoeling verhindert waardoor de verhoging van plantenweefsel niet afgeremd wordt. In een onderzoek van Berkley & Berkley (1933) waarbij het effect van de RV op de letale temperatuur van de katoenplant (*Gossypium hirsutum* L.) onderzocht werd, bleek dat de letale temperatuur ongeveer 55°C was bij hoge RV (ongeveer 100%), wat 8°C lager was dan bij lage RV (gemiddeld 69%).

2.2.3.3. Technische factoren

Technische aspecten, zoals instellingen van de heetwaterapplicator of hulpstoffen toegevoegd aan het water beïnvloeden eveneens het uiteindelijk bestrijdingsresultaat.

2.2.3.3.1. Watertemperatuur en –dosis

De energiedosis Q (J) van heet water hangt af van de soortelijke warmtecapaciteit (c_p) van water (4186 J kg⁻¹ K⁻¹), de waterdosis m (kg) en het temperatuurverschil ΔT (K) en kan als volgt berekend worden:

$$Q = c_p * m * \Delta T \quad \text{formule 2}$$

Een hogere watertemperatuur geeft bij eenzelfde energiedosis een betere bestrijding. Dit komt waarschijnlijk omdat enkel temperaturen boven de letale temperatuur planten doden. Naarmate de temperatuur van het heet water hoger is dan de letale temperatuur, zal een groter aandeel van de totale energie bijdragen tot het doden van plantenweefsel (Hansson & Mattsson, 2002). Verder is volgens de Wet van Fourier (zie formule 1 in sectie 2.2.1) de snelheid van warmtetransport door een voorwerp proportioneel met het temperatuurverschil langsheen de afgelegde weg. Dit wil zeggen dat heet water meer schade aan kan richten wanneer het temperatuurverschil tussen bladoppervlak en heet water groter is (Daniell *et al.*, 1969; Hansson & Mattsson, 2002; Pieters, 2010; De Cauwer *et al.*, 2014)

In de studie uitgevoerd door Hansson & Mattsson (2002) werden in twee experimenten watertemperaturen van 100 en 120°C uitgetest op *Sinapis alba* L. bij verschillende energiedosissen (bepaald door regeling van de rijsnelheid en het wateruitstroomdebiet). In vergelijking met water van 100°C was voor water bij 120°C een 8 à 15% lagere ED₉₀ vereist.

De grotere respons bij een hogere watertemperatuur zou, wanneer de temperatuur boven de 100°C uitkomt, deels kunnen komen van stoom die geproduceerd wordt. Stoom heeft namelijk een grotere warmte-inhoud dan water (stoom: 2674 kJ kg⁻¹, water: 418 kJ kg⁻¹) waardoor onkruiden dieper getroffen kunnen worden (Hansson & Mattsson, 2002; Boonen *et al.*, 2013).

Bij een andere studie waarbij zeven soorten onkruiden (*P. annua*, *C. canadensis*, *T. officinale*, *P. major*, *T. repens*, *C. fontanum* subsp. *vulgare* en *L. perenne*) werden behandeld met heet water bij drie verschillende temperaturen (78, 88 en 98°C) bleek dat de ED₅₀ lager is wanneer een hogere watertemperatuur gebruikt wordt, onafhankelijk van het ontwikkelingsstadium van de onkruiden. Wanneer de planten 39 dagen oud waren, waren deze (voor alle soorten behalve *L. perenne*) 2 tot 6 keer gevoeliger voor heet water van 98°C dan van 78 of 88°C. Op een leeftijd van 81 dagen had de watertemperatuur een kleinere invloed op de respons dan op een leeftijd van 39 dagen; alle soorten (behalve *C. canadensis*) waren 3 keer zo gevoelig voor water van 98°C dan van 78°C. Op deze leeftijd waren alle soorten (behalve *C. fontanum* en *P. annua*) even gevoelig voor water met een temperatuur van 88°C als van 98°C (De Cauwer *et al.*, 2014.).

Een studie van Hansson (2002) waarbij *S. alba* met heetwaterapplicators bij verschillende watertemperaturen en met een verschillende spuitschermlengte (dit is het deel waarop de sproeiers bevestigd zijn) werd behandeld, induceerde dat de temperatuursom⁶ gebruikt kan worden om het bestrijdingseffect van applicators te vergelijken, maar enkel indien deze een gelijke spuitschermlengte hebben. De reductie in verse biomassa was beter gecorreleerd met de temperatuursom dan met de

⁶ Temperatuursom: de werkelijke temperatuur tijdens behandelen vermenigvuldigd met de blootstellingduur. De temperatuursom boven een bepaalde temperatuur (bv. 45°C) is de temperatuur tijdens de behandeling gereduceerd met het gekozen temperatuurniveau (nu 45°C) vermenigvuldigd met de blootstellingsduur bij deze temperatuur.

maximumtemperatuur en de correlatie tussen de reductie in verse biomassa en de temperatuursom boven 50°C vertoonde de kleinste variabiliteit.

Hansson en Mattsson (2002) vonden dat bij eenzelfde lage energiedosis de biomassareductie groter is wanneer het uitstroomdebiet hoger is. Een hoog uitstroomdebiet (1.7 L min⁻¹), verkregen door de rijsnelheid aan te passen, werd bij 3 verschillende druppelgroottes vergeleken met een laag uitstroomdebiet (1.2 L min⁻¹). Bij een energiedosis van 455 kJ m⁻² werd voor een hoog uitstroomdebiet 18% (7-bladstadium) en 3% (4-5-bladstadium) meer biomassareductie gevonden t.o.v. een laag uitstroomdebiet. Deze positieve invloed van een verhoogd uitstroomdebiet op biomassareductie bij onkruiden was niet significant bij een hoge energiedosis (755 kJ m⁻²) en blijkt groter wanneer planten zich in een later ontwikkelingsstadium bevinden. Aangezien onkruiden beter bestreden worden in een vroeg ontwikkelingsstadium (zie sectie 2.2.3.1.2) zal de invloed van het uitstroomdebiet bij éénzelfde energiedosis eerder beperkt zijn.

2.2.3.3.2. Druppelgrootte

Wanneer onkruiden (in het bijzonder erg jonge onkruiden) bestreden worden met contactherbiciden leveren fijnere spuitdruppels vaak een beter bestrijdingsresultaat op dan grovere spuitdruppels, dit omwille van de betere bedekking van het bladoppervlak. Bij behandeling met heet water zien we een omgekeerd effect. De reductie in vers gewicht is groter wanneer dikkere druppels gebruikt worden. Dit komt omdat grove druppels minder sterk afkoelen dan fijne druppels en dus per volume-eenheid meer energie bevatten wanneer ze de plant raken. Het belang van de druppelgrootte zou dalen indien het afkoelingseffect van de omgeving verwaarloosbaar gemaakt kan worden (Hansson & Mattsson, 2002; De Cauwer, 2013).

Het effect van drie druppelgroottes (met volume mediaan diameter 170, 320 en 490 µm) werd door Hansson & Mattsson (2002) onderzocht bij twee energiedosissen (455 en 755 kJ m⁻²). Bij de lage energiedosis waren de biomassareducties bij *S. alba* voor de verschillende druppelgroottes significant verschillend. De biomassareductie was bij grove druppels 22% en bij medium druppels 12% groter dan de biomassareductie bij fijne druppels. Bij de hoge energiedosis was er geen significant verschil in reductie van vers gewicht tussen grote en middelgrote druppels. Beide druppelgroottes veroorzaakten wel een significant verschil in reductie van vers gewicht ten opzichte van fijne druppels (29% meer reductie voor grote en 20% meer voor middelgrote druppelgrootte).

2.2.3.3.3. Gebruik van hulpstoffen

Surfactants zijn stoffen die aan gewasbeschermingsmiddelen toegevoegd worden om de oppervlaktespanning te verlagen en zo het contactoppervlak tussen vloeistof en plant te vergroten. In een studie van Hansson & Mattsson (2002) werd 0.5 L Biowett (Tergent AB, Helsingborg, Sweden) per 100 L water toegevoegd om het effect van surfactants te bepalen. Bij een watertemperatuur van 111°C werd 0.005, 0.008 en 0.012 L Biowett per m² gebruikt en als controle werd 0.008 L Biowett per m² gebruikt bij een watertemperatuur van 10°C. De toevoeging van het surfactant bleek de reductie van vers gewicht significant te verhogen met gemiddeld 27%, zelfs bij de controle. Er werd geen interactie tussen surfactant en energiedosis vastgesteld, het effect op de reductie van vers gewicht was enkel een additief effect van het surfactant zelf.

Andere hulpstoffen die gebruikt worden bij de heetwaterbehandeling van onkruiden zijn plantaardige suikers (zoals kokos- of maïssuiker) of zepen die schuim vormen. Dit schuim werkt als een isolatielaag tussen de aangebrachte heetwaterfilm en de buitenlucht. Hierdoor staan de planten langer in contact met hete watertemperaturen (langere blootstellingsduur) waardoor de efficiëntie van heet water significant verhoogt (Collins *et al.*, 2003; Collins, 2013). De 'Waipuna' is een heetwaterapplicator uit

Nieuw-Zeeland die o.a. in Nieuw-Zeeland, Australië en Nederland gebruikt wordt en van dit systeem gebruik maakt (Kempenaar & Spijker, 2004; Tu, 2004; De Cauwer, 2013).

De blootstellingsduur kan ook door andere technische factoren verlengd worden. Hansson (2002) onderzocht het effect van de lengte van het spuitscherf, het aantal sproeiers per spuitscherf en de aan- of afwezigheid van een beschermkap (bevestigd achteraan het spuitscherf) op de efficiëntie van twee heetwaterdosissen (310 kJ m^{-2} , 470 kJ m^{-2}) op *S. alba*. Een beschermkap bevestigd na het spuitscherf verhoogde de blootstellingsduur, zowel bij een lage als hoge energiedosis, met een factor 6 en de verse biomassa na behandeling was 12% lager dan wanneer geen beschermingskap werd gebruikt. Hansson vergeleek 3 spuitscherfen: 2 lange waarbij 12 of 24 sproeiers met de rijrichting mee verspreid staan en een kort spuitscherf waarbij 10 sproeiers op één lijn dwars op de rijrichting staan. Bij toepassing van een lage energiedosis (310 kJ m^{-2}) was er geen significant verschil tussen het gebruik van het lange spuitscherf met 24 sproeidoppen en het korte spuitscherf. Wanneer een hoge energiedosis (470 kJ m^{-2}) toegepast werd, was het lange spuitscherf met 24 sproeidoppen wel significant beter dan het korte (het verschil in reductie van verse biomassa bedroeg 44%) maar het lange spuitscherf met 12 sproeidoppen toonde geen significant verschil met het korte spuitscherf.

Bij de laagste energiedosering was het even effectief om een beschermkap te gebruiken dan over te schakelen van een kort naar een lang spuitscherf. Bij de hogere energiedosering werd een betere bestrijding bekomen met een lang spuitscherf met veel uniform verdeelde doppen dan met een applicator met beschermkap en kort spuitscherf (Hansson, 2002).

2.2.3.4. Timing van applicaties

De timing van de behandeling(en) kan de effectiviteit van heet water beïnvloeden.

2.2.3.4.1. Tijdstip van de dag

Het dagtijdstip waarop een heetwaterbehandeling uitgevoerd wordt, heeft een invloed op de effectiviteit van thermische technieken. Dit heeft te maken met het typisch dagverloop van RWC in plantenweefsels (zie ook sectie 2.2.3.1.5). 's Ochtends hebben planten de hoogste RWC, deze daalt gedurende de dag om 's avonds weer toe te nemen (Ulloa *et al.*, 2012; Popescu & Popescu, 2014).

In een onderzoek uitgevoerd door Ulloa *et al.* (2012) werden maïs (*Zea mays* subsp. *mays* L.), soja (*Glycine max* (L.) Merr.), fluweelblad (*Abutilon theophrasti* Medik.) en groene naalbaar (*Setaria viridis* (L.) P.Beauv.) op 4 dagtijdstippen (0, 4, 8 en 12 uren na zonsopkomst (UNZ)) behandeld met een brander met 4 propaandosissen. De hoogste verse biomassa werd gemeten als planten meteen na zonsopkomst behandeld werden en alle planten toonden meer visuele schade wanneer ze in de namiddag behandeld waren, zeker bij 12 UNZ. *Setaria viridis* toonde bij een dosis van $87 \text{ kg propaan ha}^{-1}$ op 0, 8 en 12 UNZ een respectievelijke schade van 62, 76 en 82%. Voor *A. theophrasti* was de schade bij dezelfde dosis op 0 en 12 UNZ respectievelijk 80 en 93%. Voor de meeste soorten was er geen verschil tussen 0, 4 en 8 UNZ. De UNZ die zorgt voor 90% van de maximale bekomen schade in de proef (UNZ₉₀) lag meestal tussen 9 en 12 UNZ, wat erop wijst dat de planten hittegevoeliger zijn in de namiddag.

Deze bevindingen werden ook gevonden in een onderzoek door De Cauwer *et al.* (2014) waarbij 3 soorten onkruiden (*L. perenne*, *T. officinale* en *C. fontanum* subsp. *vulgare*) werden behandeld met heet water (78, 88 en 89°C) met verschillende energiedosissen (0, 164, 328, 492, 656, 819 en 983 kJ m^{-2}) op verschillende dagtijdstippen (2, 7 en 12 UNZ). In het algemeen toonden alle soorten een typisch dagpatroon in gevoeligheid waarbij de gevoeligheid voor de behandeling ongeveer 2 keer lager was in de voormiddag dan in de namiddag. Het tijdstip van de namiddag waarop planten het meest gevoelig waren, was soortafhankelijk (*C. fontanum* was het gevoeligst 7 UNZ; *L. perenne* en *T. officinale* 12 UNZ).

Onkruiden zijn het gevoeligst in de namiddag en worden dus best dan behandeld. Hoewel de oorzaak voor deze dagvariatie in gevoeligheid nog steeds niets goed begrepen is, is de meest plausibele verklaring voor dit fenomeen de variatie in de RWC (Ulloa *et al.*, 2012B; De Cauwer *et al.*, 2014).

2.2.3.4.2. Tijdstip(pen) tijdens het groeiseizoen

Het herhaaldelijk toepassen van heet water heeft als doel de koolstof en nutriëntenreserves van planten uit te putten (zie sectie 2.2.1). Voor een optimale toepassing van thermische technieken moet geweten zijn wanneer de eerste behandeling moet plaatsvinden en welk bestrijdingsinterval best aangehouden wordt. Het aantal heetwaterbehandelingen vereist over een volledig groeiseizoen is al vele malen onderzocht. In het algemeen bleken 3 tot 5 behandelingen per groeiseizoen noodzakelijk voor een aanvaardbaar straatbeeld (Hansson & Ascard, 2002; Hansen *et al.*, 2004; Kempenaar & Spijker, 2004; Vermeulen *et al.*, 2006; Rask *et al.*, 2013).

In een onderzoek van De Cauwer *et al.* (2014) werden *L. perenne*, *T. officinale* en *P. major* gedurende 12 weken bestreden met heet water met verschillende bestrijdingsintervallen (2, 3, 4 en 6 weken) en met verschillende cumulatieve energiedosissen⁷ (0, 656, 1311, 1967, 2622, 3278 en 3934 kJ m⁻²) waarna de totale droge biomassa (bovengronds + ondergronds) gemeten werd. Het meest effectieve interval was afhankelijk van de cumulatieve energiedosis en de plantensoort. De reductie van droge biomassa werd niet beïnvloed door het bestrijdingsinterval bij cumulatieve dosissen ≤ 1967 kJ m⁻² (*L. perenne*, *T. officinale*) of 1311 kJ m⁻² (*P. major*). Indien de hoogste cumulatieve energiedosis (3934 kJ m⁻²) toegepast werd, was de reductie in droge biomassa het grootst bij driewekelijkse (*L. perenne*, *T. officinale*) of tweewekelijkse (*P. major*) behandeling. Driewekelijks behandelen met een cumulatieve energiedosis van 3278 kJ m⁻² reduceerde de totale droge biomassa van *L. perenne*, *T. officinale* en *P. major* met respectievelijk 67.1, 68.9 en 67.2%. Een bestrijdingsinterval van 6 weken bleek het minst doeltreffend, onafhankelijk van de cumulatieve energiedosis en plantensoort.

Een kort interval zorgt voor een maximaal depletie van nutriënten en een goede uitputting van de koolstofvoorraad doordat fotosynthetisch actieve weefsels afgedood worden voordat ze de tijd krijgen om de ondergrondse koolstofvoorraden aan te vullen. Bovendien zijn bovengrondse plantendelen gevoeliger voor hitte bij aanhouden van een kort interval dan bij lang interval omwille van het ijler bladerdek (geen parapluwerking) en jonger (en dus hittegevoeliger) hergroeiweefsel op het moment van behandelen (De Cauwer *et al.*, 2014).

De Cauwer *et al.* (2014) adviseren om de thermische behandeling in de lente te starten, wanneer de hergroei van de onkruiden start en het bovengronds plantenweefsel nog jong is. Ook wordt aanbevolen om de behandelingen 3 tot 4-wekelijks te herhalen om de onkruiden tijdens hun actieve groei zo veel mogelijk uit te putten.

2.2.4. Milieuaspecten

De milieu-impact van methodes voor onkruidbestrijding worden bepaald door middel van een levenscyclusanalyse (LCA) waarbij de milieueffecten 'van wieg tot graf' van een product in kaart worden gebracht. Voor elke fase in de levenscyclus van een product worden inputs en outputs gekwantificeerd en omgerekend naar schadecategorieën die verder via weging opgeteld worden tot een totale milieuscore waardoor methodes met elkaar vergeleken kunnen worden.

De resultaten van LCA's, regelmatig uitgevoerd door het IVAM (een onderzoeks- en adviesbureau op het terrein van duurzaamheid) verschillen sterk naargelang de opstelling van de LCA (welke

⁷Cumulatieve energiedosis: het energieverbruik per behandeling vermenigvuldigd met het aantal verrichtte behandelingen.

milieuthema's in beschouwing worden genomen en welke prioriteiten er aan worden toegekend) en de gebruikte inputgegevens (bv.: energieverbruik). In het laatste onderzoek van IVAM (2012) had het selectief behandelen met heet water, per beurt en bij de toenmalige technische instellingen, een grotere negatieve milieu-impact dan branden, borstelen en hete lucht omwille van zijn relatief hoog dieselvebruik en relatief hoge emissiewaarden aan fijn stof bij dieselvebranding.

Volgens de LCA uitgevoerd door EVEA (een Frans onderzoeks- en adviesbureau op het terrein van duurzaamheid) hadden de op water gebaseerde technieken (heet water, stoom) over het algemeen een grotere negatieve milieu-impact dan branden, mechanische en chemische technieken (Bellino *et al.*, 2014).

De milieu-impact van de heetwatermethode hangt af van het water- en energieverbruik en van de productiviteit. Wanneer er meer onkruid aanwezig is of wanneer een verkeerseiland een onregelmatige vorm heeft, er obstakels aanwezig zijn of er sprake is van overlap, zal de productiviteit dalen, is er meer handmatige onkruidbestrijding nodig en neemt het water- en energieverbruik toe (Saft, 2005; Rask *et al.*, 2013).

2.2.4.1. Waterverbruik

Door de technologische ontwikkelingen van de heetwatermethode (o.a. gebruik van preciezere onkruiddetectiesensoren (zie sectie 2.1.3.2) en warmterecuperatiesystemen) en verdere daling van het uitstroomdebiet is het waterverbruik reeds sterk gereduceerd en wordt er nog een verdere reductie verwacht. Het waterverbruik werd door de IVAM in 2002 geschat op 1000 L u⁻¹ bij een productiviteit van 525 m² u⁻¹ (wat neerkomt op 1.9 L m⁻²) en in 2005 op 750 L u⁻¹ bij een productiviteit van 1875 m² u⁻¹ (wat 0.4 L m⁻² geeft). Boonen *et al.* (2013) berekenden dat een halvering van het waterverbruik een daling van de LCA-score met 42 tot 44% zou kunnen opleveren.

Het waterverbruik hangt naast de technologie van de methode ook af van de bestrating. Zo kunnen verkeerseilanden met een hellend profiel een grotere run-off vertonen, wat resulteert in een hoger waterverbruik (Rask *et al.*, 2013). Het waterverbruik per behandeling is sterk afhankelijk van het bestratingstype. Het gemiddeld waterverbruik per behandeling op poreuze betonstraatstenen met zuivere voegvulling bedroeg 0.66 L m⁻², op poreuze betonstraatstenen met bevuilde (20% OM) voegen 0.71 L m⁻², op bestrating met verbrede, bevuilde voegen 0.92 L m⁻² en op bestrating met drainageopeningen en bevuilde voegen 0.98 L m⁻² (Jonkers & van der Noort, 2012).

2.2.4.2. Energieverbruik

Bij de heetwatermethode is er energie nodig om het water te verhitten, de motor van de machine te doen draaien en voor de aandrijving van de werktuigdrager.

Het energieverbruik of de energie-input wordt uitgedrukt in MJ ha⁻¹, MJ u⁻¹ of in kWh ha⁻¹ of kWh u⁻¹. Eens de gebruikte hoeveelheid brandstof gekend is (in L of kg), kan dit omgezet worden naar energie door te vermenigvuldigen met de energetische waarde of specifieke energie van de brandstof (in MJ kg⁻¹, MJ L⁻¹, kWh kg⁻¹ of kWh L⁻¹). Zo kan voor diesel het energieverbruik in MJ berekend worden door de gebruikte hoeveelheid (in L of kg) te vermenigvuldigen met de specifieke energie (35 MJ L⁻¹ of 43 MJ kg⁻¹) (Saft, 2005).

Het verhitten van het water is het belangrijkste energieverbruik. Bij een onderzoek van Rifai *et al.* (2003) ging 91% van het energiegebruik van de machine zonder werktuigdrager naar het verhitten van het water. Het energieverbruik kan dus voornamelijk beperkt worden door het waterverbruik te reduceren (Jonkers & van der Noort, 2012; Rifai *et al.*, 2003). Het energieverbruik voor de verhitting van water kan geschat worden, gebruikmakend van het waterverbruik en de temperatuur van het water aan de uitstroommond. Hier volgt een voorbeeld uit het onderzoek van IVAM (2005).

In de LCA van IVAM (2005) werd het waterverbruik geschat op 750 L u⁻¹. De nodige energie Q om deze hoeveelheid water op te warmen van 15 tot 98°C is afhankelijk van de soortelijke warmtecapaciteit van water (4186 J kg⁻¹ K⁻¹) (zie formule 2, sectie 2.2.3.3.1).

$$Q = 4186 \frac{J}{kg \cdot K} * 750 L * (98^{\circ}C - 15^{\circ}C) = 260 MJ$$

Hiervoor wordt diesel gebruikt met een specifieke energie van 43 MJ kg⁻¹ en een soortelijk gewicht van 0.85 kg L⁻¹. De machine heeft een omzettingsefficiëntie van 85%. Het benodigde dieselverbruik per uur kan als volgt berekend worden.

$$Dieselverbruik = \frac{260 MJ}{(0.85 \frac{kg}{L} * 43 \frac{MJ}{kg} * 0.85)} = 8.37 L uur^{-1}$$

Het geschatte dieselverbruik door IVAM van 60 L ha⁻¹ komt overeen met 11.25 L u⁻¹ waarvan 2 tot 3 liter nodig zou zijn voor de voorstuwing van de machine. De overige liters zijn voor de verbrandingsunit en komen overeen met de berekende 8.4 L.

Om het energieverbruik te vergelijken, moet gekeken worden naar het cumulatief energieverbruik.

In onderstaande tabel (Tabel 2) wordt het cumulatief energieverbruik weergegeven om de onkruidgroei onder een bepaalde veronkruidingslimiet te houden (Saft, 2005; Jonkers & van der Noort, 2012).

Tabel 2: cumulatief energieverbruik

Bron	Veronkruidingslimiet (%)	Dieselverbruik per behandeling (L ha ⁻¹)	Specifieke energie (MJ L ⁻¹)	Energieverbruik (MJ ha ⁻¹)	Aantal behandelingen per jaar	Cumulatief energieverbruik (MJ ha ⁻¹)
IVAM 05	25	60	35	2100	2.5-3	5250 - 6300
IVAM 12 (jaar: 2010)	2 - 6	135.5	35	4742	1.75	8299
IVAM 12 (jaar: 2011)	2 - 6	166.8	35	5837	5.5	32104
Rask <i>et al.</i>	2	400	36	14394	3	43182

2.2.4.3. Hulpstoffen

Hulpstoffen worden toegevoegd aan herbiciden om een betere werking van de werkzame stof te verkrijgen. Hulpstoffen kunnen onder andere oplosmiddelen, plantaardige oliën of oppervlakte actieve stoffen (surfactants) zijn (Spanoghe, 2014).

2.2.4.3.1. Surfactants

Zoals reeds eerder vermeld worden surfactants soms gebruikt bij heetwaterbehandeling om de oppervlaktespanning te verlagen en zo het contactoppervlak tussen vloeistof en plant te vergroten (zie sectie 2.2.3.3.3). Aangezien surfactants een groot effect kunnen hebben op het ecosysteem is er bezorgdheid over het gebruik van deze stoffen. De toxiciteit van een surfactant is zeer specifiek en hangt niet enkel af van het type stof maar ook van het organisme waarop het een effect kan hebben (Ivanković & Hrenović, 2010).

Surfactants kunnen ingedeeld worden in anionische, kationische, niet-ionische en amfotere surfactants (Spanoghe, 2014).

Hieronder worden veel gebruikte surfactants en hun schadelijkheid voor het milieu besproken:

-(Lineaire) alkaanarylsulfonaten (LAS) behoren tot de anionische surfactants en zijn niet hoog toxisch voor terrestrische organismen. Ze vertonen een relatief hoge bio-afbreekbaarheid in een anaeroob milieu en hebben een korte halfwaardetijd van 1 tot 87 dagen waardoor er weinig kans bestaat op accumulatie in de bodem (Scott & Jones, 2000);

-Zepen behoren zoals LAS tot de anionische surfactants. Ze zijn makkelijk afbreekbaar in zowel aerobe als anaerobe milieus. In een anaeroob milieu zou zeep voor 92 tot 95% afgebroken kunnen worden in 28 dagen (Steber & Wierich, 1987; Scott & Jones, 2000).

-Vetalcoholethoxylaten behoren tot de niet-ionische surfactants en werden als milieuvriendelijk alternatief voor alkylfenoethoxylaten (APE) ontwikkeld. Er wordt verondersteld dat vetalcoholethoxylaten makkelijker afbreekbaar zijn dan APE maar ze zouden niet volledig afbreekbaar zijn onder anaerobe omstandigheden (Scott & Jones, 2000);

-De meest voorkomende kationische surfactants zijn quaternaire ammoniumzouten. Deze zouden afgebroken kunnen worden in aerobe milieus maar niet in anaerobe milieus (Scott & Jones, 2000; Ivanković & Hrenović, 2010);

Over het algemeen zijn surfactants beter afbreekbaar in aerobe dan anaerobe omstandigheden en blijkt de aanwezigheid in het milieu onder het toxiciteitsniveau te liggen (Scott & Jones, 2000).

Plassche *et al.* (1997) onderzochten het risico van enkele surfactants (LAS, alcohol ethoxylaten (AE), alcohol-ethoxysulfaten (AES) en zeep) op het aquatisch milieu. Op 7 waterzuiveringsbedrijven in Nederland werden metingen uitgevoerd en vervolgens werd de ratio van de voorspelde milieuconcentratie (PEC⁸) op de voorspelde concentratie waarbij geen effect was (PNEC⁹) berekend. De LAS, AE en AES hadden een PEC/PNEC ratio < 0.005 en zeep had een ratio die bijna gelijk was aan 1 wat betekent dat zeep wel een risico kan vormen voor het aquatisch milieu.

Mieure *et al.* (1990) voerden een risico analyse uit waarbij het risico van LAS op regenwormen en verschillende planten berekend werd. Schadelijke effecten van LAS op regenwormen werden vastgesteld vanaf concentraties van 10 mg L⁻¹ terwijl gezuiverd water slechts 0.09 tot 0.9 mg L⁻¹ LAS bevat. Planten vertoonden negatieve effecten wanneer ze met slib behandeld werden met LAS-concentraties vanaf 392 µg g⁻¹. Een langetermijnmonitoring op 46 plaatsen toonde aan dat de LAS-concentratie in de bodem < 3 µg g⁻¹ was. Voor regenwormen was er dus een veiligheidsmarge tussen 10 en 100 en voor planten was er een marge van 131.

⁸ PEC: Predicted Environmental Concentration.

⁹ PNEC: Predicted No Effect Concentration.

3. Materiaal en methoden

3.1. Gebruikte testsoorten en opkweek

Voor de experimenten hebben we gebruik gemaakt van plantensoorten die frequent voorkomen op verhardingen; *Lolium perenne* L. (Engels raaigras), *Festuca rubra* L. (roodzwenkgras), *Taraxacum officinale* F.H. Wigg (paardenbloem) en *Plantago major* L. (grote weegbree) (zie Fig. 3). Voor *T. officinale* en *P. major* werd gebruik gemaakt van zaden verzameld op een braakterrein in Melle. Voor de grassen werden zaden van commercieel beschikbare rassen gebruikt. Voor *L. perenne* gebruikten we de rassen 'Melony' en 'Plenty' en voor *F. rubra* werd het ras 'Barcrown' gebruikt.



Figuur 3: Geteste plantensoorten: *F. rubra* (linksboven), *T. officinale* (rechtsboven), *P. major* (linksonder), *L. perenne* (rechtsonder).

Om potentiële verschillen in heetwatergevoeligheid binnen een plantensoort waar te kunnen nemen, werden in experiment 1 binnen *Lolium perenne* en *Taraxacum officinale* telkens twee populaties met sterk verschillende morfologie getest. Om het effect van groeihabitus op de heetwatergevoeligheid van *L. perenne* te onderzoeken, gebruikten we 'Plenty', een ras met een planofiele groeiwijze, en 'Meloni', een ras met een erectofiele groeiwijze. Om het effect van bladmorfologie op de heetwatergevoeligheid van *T. officinale* te onderzoeken, werden twee verschillende klonale populaties gebruikt met name kloon 1, met bijzonder diep ingesneden slipbladige bladeren, en kloon 2 met

ondiep ingesneden brede bladeren (zie Fig. 4). Deze klonen werden geselecteerd op een braakperceel in Melle. De apomictische zaden verzameld op deze klonen werden als uitgangsmateriaal voor deze thesis gebruikt.



Figuur 4: De verschillen in bladmorphologie bij de verschillende klonen van *T. officinale*; kloon 1 (links) en kloon 2 (rechts).

Tabel 3 geeft een overzicht van de gebruikte plantenpopulaties voor de verschillende experimenten.

Tabel 3: De gebruikte plantenpopulaties voor de verschillende experimenten

Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	<i>L. perenne</i> 'Plenty'	<i>L. perenne</i> 'Plenty'
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	<i>P. major</i>	<i>T. officinale</i> (klonaal mengsel)
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	<i>T. officinale</i> (klonaal mengsel)	
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'		
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'		

Voor alle uitgevoerde proeven werd hetzelfde substraat gebruikt, wat bestaat uit 50% potgrond en 50% gestoomde zandleemgrond. Alle planten werden opgekweekt in plasticen potten met een diameter van 9 cm. De zaden werden na zaai bedekt met een dun laagje (2 mm) gezeefde zandleemgrond die licht werd aangedrukt. Gedurende de eerste twee weken na zaai verbleven de potten in een plasticen serre. Vooral eer de potten overgebracht werden naar een betonverharding in openlucht werden ze uitgedund tot 5 planten per pot. De planten werden vanaf hun zaai tot aan de oogst voorzien van voldoende water (gemiddeld 3 mm dag⁻¹) door middel van sprinklers. De planten werden eenmalig bemest; dit gebeurde tijdens de opkweekfase met 2 g L⁻¹ Agrolution® 316 (NPK: 13-5-28 + 2 CaO + 2 MgO + sporenelementen), met een equivalent van 1.68 mg N, 0.65 mg P en 3.63 mg K per pot.

3.2. Heetwaterapplicator

De heetwaterapplicator bestaat uit een stationair verwarmingsgedeelte en een mobiel spuitgedeelte. Het verwarmingsgedeelte is de High Series 75/30 van WAVE Weed Control (zie Fig. 5). Het omvat twee waterpompen (één per brander, aangedreven door een dieselmotor), twee dieselbranders, een watertank van 1000 liter en een drukregeling per brander. De dieselbranders warmen het water op

zodat een watertemperatuur van 98°C bekomen wordt bij de uitstroomopeningen van het spuitgedeelte. Het verwarmingsgedeelte is via twee toevoerleidingen (één per brander) met het spuitgedeelte verbonden. De werkdruk kan ingesteld worden tussen 0 en 2 bar. Deze machine kan 30 L heet water per minuut leveren of 2.750 - 5.500 m² per dag behandelen.

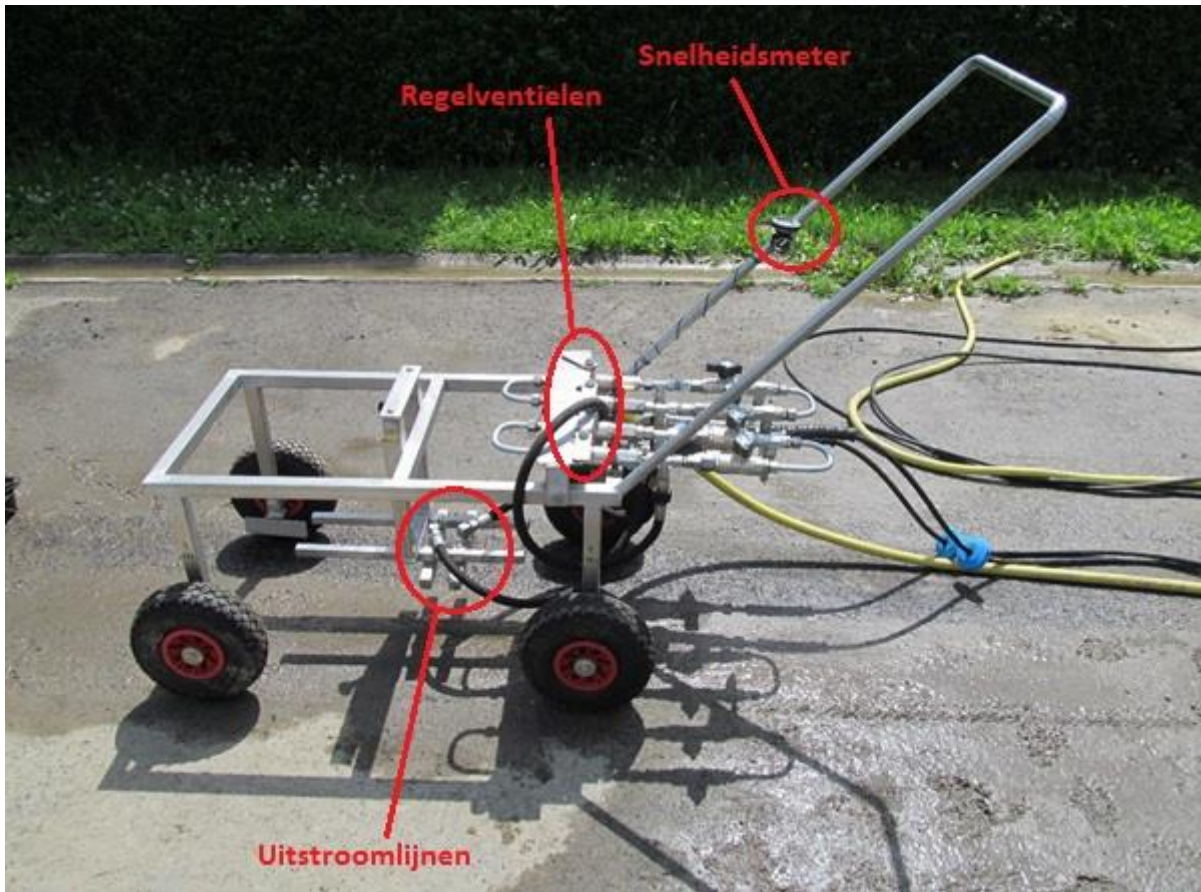


Figuur 5: Het verwarmingsgedeelte; High Series 75/30, Wave weed control.

Het rijdend spuitgedeelte (zie Fig. 7) is een met de hand aan te drijven wagentje met vier regelventielen, een snelheidsmeter en een wateruitstroomlijn met een breedte van 15 cm. De uitstroomlijn heeft 23 uitstroomgaten die zich tijdens de behandeling 8 cm boven de potrand bevonden (zie Fig. 8). Deze uitstroomgaten hebben elk een diameter van 2 mm en zijn op 7 mm van elkaar gelegen. De temperatuur (98 °C) en de rijsnelheid (2 km uur⁻¹) werden constant gehouden om zo variaties in contactduur te voorkomen. Via het aantal ingezette branders (via het aantal open gezette toevoerleidingen), de opgelegde druk en de instelling van de regelventielen werd het benodigde debiet (in L min⁻¹) (bepalend voor de energiedosis, in KJ m⁻², bij de gekozen rijsnelheid) en de vereiste watertemperatuur om de proeven uit te voeren, ingesteld. De watertemperatuur werd ter hoogte van de uitstroomlijn via een opvangcilinder gemeten met een digitale thermometer (EAGLE digital thermometer type k, Y137XB)(zie Fig. 6). Het debiet werd gemeten door het water gedurende een halve minuut via de opvangcilinder op te vangen in een maatemmer. Tijdens de behandeling werden de potten, met voldoende tussenruimte (20 cm), achter elkaar op één lijn geplaatst (zie Fig. 9). Het bladoppervlak van de te behandelen onkruiden was voor de behandeling steeds droog.



Figuur 6: Temperatuursbepaling via opvangcilinder ter hoogte van de uitstroomlijn.



Figuur 7: Het rijdend spuitgedeelte met twee regelventielen, een snelheidsmeter en twee uitstroomlijnen.



Figuur 8: De uitstroomlijn met heet water stromend door de uitstroomgaten.



Figuur 9: De behandeling van *L. perenne* en *T. officinale* met heet water.

3.3. Experimenten

Voor dit onderzoek werden drie dosis-responsproeven uitgevoerd. Hierbij werden verschillende energiedosissen toegediend aan onkruiden door middel van heetwaterbehandelingen en vervolgens werd de reductie in drooggewicht of de bedekkingsgraad bepaald. In een eerste experiment werd hierbij de invloed van de toevoeging van een hulpstof aan het hete water onderzocht. Een tweede dosis-responsproef werd uitgevoerd om verschillende bestrijdingsscenario's met elkaar te vergelijken en een derde experiment onderzocht de invloed van het tijdstip van behandeling gedurende de dag op de heetwatergevoeligheid van onkruiden.

3.3.1. Experiment 1:

Invloed van hulpstoffen op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten

3.3.1.1. Doelstelling

Hoe hoger de heetwatergevoeligheid van een plantensoort, hoe effectiever de heetwaterbehandeling is en hoe meer energie bespaard kan worden. We willen nagaan of de toevoeging van een hulpstof aan het hete water de heetwatergevoeligheid van plantensoorten kan verhogen en zo de effectiviteit van de heetwaterbehandeling kan verhogen. Om de resultaten van dit onderzoek goed te kunnen interpreteren is het van belang na te gaan of de hulpstoffen op zich reeds een fytoxische werking hebben. Daarnaast willen we nagaan in welke mate plantenpopulaties en -soorten gevoelig zijn voor heet water. Bepaalde plantensoorten vereisen bijzonder hoge energiedosissen voor afdoding, met name grassen vanwege hun kleine erectiefiel-georiënteerde bladeren (De Cauwer *et al.*, 2014).

Onderzoeksvragen

- 1) Verhoogt de toevoeging van een hulpstof de heetwatergevoeligheid van plantensoorten? [O1]
- 2) Hebben de gebruikte hulpstoffen een fytotoxische werking? [O2]
- 3) Zijn er inter- en intraspecifieke verschillen in heetwatergevoeligheid? [O3]

3.3.1.2. Proefopzet

Vijf plantenpopulaties, verdeeld over drie plantensoorten, werden behandeld met acht verschillende energiedosissen heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof. Elke combinatie (plantenpopulatie x hulpstof x energiedosis) lag aan in 3 parallellen in een compleet gerandomiseerd blokontwerp. Dit experiment werd in tweevoud (Exp. 1a en 1b) uitgevoerd.

De geteste populaties zijn: *L. perenne* rassen 'Meloni' en 'Plenty', *F. rubra* 'Barcrown' en *T. officinale* klonen 1 en 2 (zie Fig. 3 en 4 sectie 3.1). Deze werden gezaaid op 6 en 15 mei en opgekweekt tot juli. Op 16 juli, tussen 11u15 en 13u30, werden de planten van Exp. 1a behandeld. De planten van Exp. 1b werden behandeld op 24 juli tussen 10u45 en 13u30.

De 8 toegediende energiedosissen met hun corresponderende waterlaagdiktes zijn weergegeven in Tabel 4 (in mm)¹⁰.

Tabel 4: De toegediende energiedosissen en corresponderende waterlaagdiktes (Exp. 1a en 1b)

Energiedosis (kJ m ⁻²)	Heetwaterbehandelingen							
	0	147	294	441	589	736	883	1180
Waterlaagdikte (mm)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2

De geteste hulpstoffen, allen surfactants, zijn:

- Fieldor Max (toelatingshouder: VIVAGRO ; formuleringstype: emulgeerbaar concentraat): dit is een plantaardig surfactant dat 790 g L⁻¹ geëthoxyleerd triglyceride 10 EO bevat (Fytoweb, 2014);
- Vegetop (toelatingshouder: NOVANCE S.A; formuleringstype: emulgeerbaar concentraat): dit bestaat uit 812 g L⁻¹ veresterde koolzaadolie (Fytoweb, 2015);
- Mousse de Lin: Dit is een natuurlijke lijnoliezeep dat 5 -15% zeep op basis van lijnzaadolie en glycerineolie bevat, naast < 5% niet-ionische oppervlakte-actieve stoffen en door de fabrikant Peritus Brands N.V. niet nader gemelde concentraties aan benzisothiazolinone en limonene.

De concentraties van de gebruikte hulpstoffen in de heetwaterspuittank zijn weergegeven in Tabel 5.

¹⁰ Een waterlaagdikte van 1 mm stelt 1 L water per m² voor.

Tabel 5: Concentraties (volumepercent) van de gebruikte hulpstoffen zoals toegepast in Exp. 1a en 1b

Hulpstof	Concentratie (vol.-%)
Fieldor Max ¹¹	0.150
Vegetop ¹²	0.332
Mousse de Lin	0.662

Na de behandeling werden de planten terug op de betonverharding geplaatst en later werd de bedekking door de levende biomassa en het drooggewicht van de bovengrondse levende biomassa bepaald (zie 3.4.1 en 3.4.2).

Om te bepalen of de hulpstoffen een fytoxische werking hebben, werden voor alle hulpstoffen de testpopulaties (3 potten per populatie) behandeld (gebruikmakend van een gieter met fijne broeskop) met water op kamertemperatuur (21.5°C bij Exp. 1a en 25.5 °C bij Exp. 1b) waaraan de hulpstoffen in gekende concentraties toegevoegd waren. Om de toegediende dosis van de hulpstoffen te berekenen, werd voor en achter de planten een metalen schaal geplaatst met gekende oppervlakte (0.20 m²) die mee behandeld werd. De toegepaste dosissen (horende bij een gemiddeld waterverbruik van 600 mL m⁻² in Exp. 1a en 417 mL m⁻² in Exp. 1b) worden weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6: De dosissen van de gebruikte hulpstoffen bij de bepaling van de fytoxische werking van de hulpstoffen (Exp. 1a en 1b)

Hulpstof	Dosis (mL m ⁻²)	
	Exp. 1a	Exp. 1b
Fieldor Max	0.878	0.525
Vegetop	2.208	1.162
Mousse de Lin	3.641	3.641

Zoals eerder vermeld werd in experiment 1 gebruik gemaakt van verschillende *L. perenne* rassen en verschillende *T. officinale* klonen om intraspecifieke verschillen in heetwatergevoeligheid te onderzoeken. Per populatie werd de bladoppervlakte en specifieke bladoppervlakte (SLA) berekend (zie 3.4.1). Bij de *T. officinale* klonen werd bovendien de bladstand bepaald (zie 3.3.1.3.).

3.3.1.3. Metingen

Plantkarakteristieken

Om aan te geven in welk fenologisch stadium de planten zich op moment van behandelen bevonden, werd voor iedere gebruikte plantenpopulatie een aantal plantkarakteristieken bepaald. De hoogte van alle planten werd vanaf het potsubstraat gemeten. Daarnaast werd bij de grassen het aantal stoelen per plant geteld. Bij *T. officinale* werd het aantal groene en verdorde bladeren per plant geteld. Daarnaast staat aangegeven op hoeveel dagen na zaai de behandeling uitgevoerd werd. De resultaten van deze metingen staan weergegeven in Tabel 7.

¹¹ Een concentratie van 0.150 vol.-% komt bij waterlaagdiktes van 0.4 tot 3.2 mm neer op een verbruik van 6 tot 48 L Fieldor Max ha⁻¹. Voor landbouwtoepassingen wordt Fieldor Max toegepast met een concentratie van 0.15 vol.-% bij een verbruik van 150 L oplossing ha⁻¹, wat neerkomt op 0.225 L Fieldor Max ha⁻¹.

¹² Een concentratie van 0.332 vol.-% komt bij waterlaagdiktes van 0.4 tot 3.2 mm neer op een verbruik van 13.3 tot 106.2 L Vegetop ha⁻¹. Voor landbouwtoepassingen wordt 0.5 tot 2 L Vegetop ha⁻¹ aanbevolen.

Tabel 7: Plantkarakteristieken met SE van de gebruikte testpopulaties, gemeten op 16 juli (Exp. 1a) en 24 juli (Exp. 1b) net voor behandeling

Plantenpopulatie	Hoogte (cm)	Aantal groene bladeren		Aantal verdorde bladeren		Aantal dagen na zaai	Aantal stoelen
Experiment 1a							
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	14.2 ± 1.19	-	-	-	-	71	12 ± 2.30
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	13.4 ± 1.19	-	-	-	-	71	11.8 ± 1.94
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	8.8 ± 1.22	-	-	-	-	71	17.8 ± 3.86
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	8.4 ± 0.63	9.6 ± 1.13	2.8 ± 0.46			71	-
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	8.3 ± 1.03	8.0 ± 0.81	1.8 ± 0.48			71	-
Experiment 1b							
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	15.1 ± 1.14	-	-	-	-	69	8.5 ± 1.23
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	16.6 ± 1.73	-	-	-	-	69	13.2 ± 2.01
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	10.0 ± 1.78	-	-	-	-	69	13.6 ± 2.12
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	7.5 ± 1.17	8.9 ± 1.61	2.3 ± 0.49			69	-
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	9.8 ± 1.06	7.3 ± 0.82	2.6 ± 0.33			69	-

Van alle testpopulaties werden voor de behandeling eveneens de bladoppervlakten (de totale bladoppervlakte van één plant), de bladstand en de specifieke bladoppervlakte (per plant) bepaald. De resultaten staan weergegeven in de tabellen 8, 9 en 10.

Tabel 8: De gemiddelde bladoppervlakten per plant (cm²) met SE van de plantenpopulaties gemeten op 16 juli (Exp. 1a) en 24 juli (Exp. 1b) net voor behandeling

Plantenpopulatie	Bladoppervlakten (cm ²)	
	Experiment 1a	Experiment 1b
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	27.6 ± 14.65	22.4 ± 4.37
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	39.0 ± 15.55	30.3 ± 12.25
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	38.2 ± 16.58	19.9 ± 5.04
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	70.0 ± 13.36	39.1 ± 9.20
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	92.1 ± 16.84	33.4 ± 10.68

Tabel 9: De bladstand met SE van de gebruikte *T. officinale* klonen (24 juli, Exp. 1b)

Bladstand (°) ◊	Aantal bladeren in een bepaalde bladstandklasse	
	kloon 1	kloon 2
0-20	1.5 ± 0.78	0.0 ± 0.00
20-40	1.6 ± 0.89	0.3 ± 0.39
40-60	2.6 ± 1.09	1.6 ± 0.62
60-80	1.8 ± 0.87	2.6 ± 0.77
80-100	0.6 ± 0.62	2.1 ± 0.70

◊ De meest erecte bladeren behoren tot de categorie 0-20°

Tabel 10: De specifieke bladoppervlakte (SLA) van de verschillende plantenpopulaties (Exp.1a en b)

Plantenpopulatie	Specifieke bladoppervlakte (SLA) (in cm ² g ⁻¹)	
	Experiment 1a	Experiment 1b
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	7.9	13.1
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	13.9	10.3
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	22.7	14.3
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	44.9	45.6
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	41.5	31.9

Weersomstandigheden

De weersomstandigheden voor, tijdens en na behandelen worden weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11: Overzicht van de verschillende tijdsperiodes en heersende weersomstandigheden (gemiddelde luchttemperatuur en instraling) voor, gedurende en na de eerste behandeling met heet water (Exp. 1a en 1b)

	Periode	T (°C)	Instraling (J cm ⁻² dag ⁻¹)
Experiment 1a			
Voor de behandeling	6/05 – 15/07	15.7	1737.3
Dag van de behandeling	16/07	19.6	2551.8
Tijdens de behandeling	16/07	21.5	-
Na behandeling tot fotograferen	17/07 – 23/07	22.2	1890.8
Na behandeling tot oogst	17/07 – 30/07	21.2	1812.1
Experiment 1b			
Voor de behandeling	15/05 – 23/07	16.9	1815.3
Dag van de behandeling	24/07	21.5	2563.5
Tijdens de behandeling	24/07	25.5	-
Na behandeling tot fotograferen	25/07 – 31/07	19.8	1717.9
Na behandeling tot oogst	25/07 – 7/08	19.2	1730.0

3.3.2. Experiment 2 :

Eco-efficiënte bestrijdingsscenario's.

3.3.2.1. Doelstelling

Zoals eerder vermeld (zie sectie 2.1.3.2) wordt bij de bestrijding met heet water in de praktijk eerder gestreefd naar een onkruidbedekking die onder een vooraf ingestelde tolerantiedrempel blijft dan naar een volledige reductie van de biomassa. Het doel is hierbij een evenwicht te behouden: geen volledige reductie van onkruiden maar ook geen extra gevormde biomassa op het einde van het groeiseizoen t.o.v. de uitgangssituatie. Het streven naar een volledige uitputting van onkruiden zou immers een zeer hoge bestrijdingsfrequentie vereisen, hetgeen gepaard gaat met een enorm energieverbruik. Bij dit experiment gaan we op zoek naar de meest eco-efficiënte combinatie van energiedosis per behandeling en bestrijdingsfrequentie om de biomassa in evenwicht te houden of te reduceren.

Onderzoeksvraag

Wat is de meest eco-efficiënte combinatie van energiedosis per behandeling en bestrijdingsfrequentie om de biomassa in evenwicht te houden of te reduceren? [O4]

3.3.2.2. Proefopzet

Drie plantensoorten werden gedurende 12 weken behandeld met heet water waarbij verschillende bestrijdingsfrequenties (aantal toegepaste behandelingenbeurten gedurende deze 12 weken) in combinatie met verschillende energiedosissen per beurt getest werden. Elke combinatie (plantensoort x bestrijdingsfrequentie x energiedosis per beurt) lag aan in 6 parallellen in een compleet gerandomiseerd blokontwerp.

De geteste plantensoorten zijn *L. perenne* 'Plenty', *P. major* en *T. officinale* (klonaal mengsel). Deze meerjarige plantensoorten zijn lastig uit te putten omwille van hun aanzienlijke ondergrondse voedselreserves (Reheul, 2010; De Cauwer, 2013). Deze soorten werden op 11 april gezaaid en opgekweekt tot juli. De eerste behandeling gebeurde 91 dagen na zaaien, op 11 juli. Na deze eerste behandeling werden, met uitzondering van een reeks planten die slechts 1 behandelingenbeurt kregen, de behandelingen over vaste bestrijdingsintervallen herhaald gedurende een periode van 12 weken. De aangehouden bestrijdingsintervallen zijn 42, 28, 21, 17 en 14 dagen. Dit stemt overeen met respectievelijk 2, 3, 4, 5 en 6 beurten over een proefperiode van 12 weken.

Bij elke behandeling werden 5 verschillende energiedosissen toegediend, nl. 295, 441, 589, 736 en 883 kJ m⁻² hetgeen overeenstemt met waterlaagdiktes van respectievelijk 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 en 2.4 mm. Op deze manier werden uiteindelijk verschillende cumulatieve energiedosissen (totale energiedosis over een proefperiode van 12 weken) toegediend, afhankelijk van de bestrijdingsfrequentie (zie Tabel 12). Het behandelingsschema voor de verschillende bestrijdingsfrequenties en de bijbehorende gemiddelde luchttemperaturen op de behandelingstijdstippen worden weergegeven in Tabel 13.

Tabel 12: Cumulatieve energiedosis (kJ m⁻²) over een proefperiode van 12 weken in functie van bestrijdingsfrequentie en energiedosis per beurt (Exp. 2)

Behandelingsfrequentie (aantal beurten per 12 weken) ^o	Cumulatieve energiedosis (kJ m ⁻²)				
1 (-)	295	441	589	736	883
2 (42)	590	882	1178	1472	1766
3 (28)	885	1323	1767	2208	2649
4 (21)	1180	1764	2356	2944	3532
5 (17)	1475	2205	2945	3680	4415
6 (14)	1770	2646	3534	4416	5298
Energiedosis per beurt (kJ m ⁻²)	295	441	589	736	883

^o Het bestrijdingsinterval (in dagen) staat tussen haken vermeld

Tabel 13: Overzicht van het toegepaste behandelingsschema met de behandelingendata en gemiddelde dagtemperaturen op deze dagen (Exp. 2)

Behandelings- frequentie ^o	Behandelingsdatum											
	11/7	24/7	28/7	1/8	8/8	14/8	22/8	31/8	5/9	12/9	17/9	19/9
	16.9 [†]	21.5	18.4	19.1	18.2	16.8	13.9	16.9	17.4	14.2	17.6	20.1
1 (-)	x											
2 (42)	x						x					
3 (28)	x				x				x			
4 (21)	x			x			x			x		
5 (17)	x		x			x		x			x	
6 (14)	x	x			x		x		x			x

^o Het bestrijdingsinterval (in dagen) staat tussen haken vermeld

[†] Dit is de gemiddelde temperatuur op de dag van behandelen in °C

Na elke behandeling werden de planten terug op de betonverharding geplaatst. Na de proefperiode van 12 weken werd het drooggewicht van de bovengrondse en ondergrondse levende biomassa bepaald (zie 3.4.1 en 3.4.2).

3.3.2.3. Metingen

Plantkarakteristieken

Om aan te geven in welk fenologisch stadium de planten zich op moment van behandelen bevonden, werden een aantal plantkarakteristieken bepaald. De hoogte van alle planten werd vanaf het potsubstraat gemeten. Daarnaast werd bij *L. perenne* het aantal stoelen per plant geteld. Bij *T. officinale* en *P. major* werd het aantal groene en verdorde bladeren per plant geteld en bij *P. major* werd ook het aantal bloeiwijzen bepaald. De resultaten van deze metingen staan weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14: Plantkarakteristieken met SE van de gebruikte testsoorten, gemeten op 11 juli net voor behandeling (Exp. 2)

Plantensoort	Hoogte (cm)	Aantal groene bladeren	Aantal verdorde bladeren	Aantal bloeiwijzen	Aantal stoelen	Bedekking (cm ² pot ⁻¹)
<i>P. major</i>	6.1 ± 0.88	6.1 ± 0.61	2.3 ± 0.37	4.1 ± 0.49	-	116.4 ± 20.79
<i>L. perenne</i>	11.7 ± 0.87	-	-	-	12.6 ± 1.20	119.5 ± 20.79
<i>T. officinale</i>	6.1 ± 0.94	8.4 ± 1.03	1.3 ± 0.53	-	-	77.1 ± 20.87

Weersomstandigheden

De weersomstandigheden tijdens dit experiment worden weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15: Overzicht van de verschillende tijdsperiodes en heersende weersomstandigheden (gemiddelde luchttemperatuur en instraling) voor, gedurende en na de eerste behandeling met heet water (Exp. 2)

	Periode	T (°C)	Instraling (J cm ⁻² dag ⁻¹)
Voor de 1 ^e behandeling	11/04 – 10/07	14.4	1745.7
Dag van de 1 ^e behandeling	11/07	16.9	479.7
Na 1 ^e behandeling tot oogst	12/07 – 4/10	17.2	1416.8

Biomassa-accumulatie

Om de potentiële biomassa-accumulatie van deze plantensoorten over de periode van 12 weken te kwantificeren, werden onbehandelde planten bemonsterd op 3 tijdstippen nl. voor de eerste behandeling (op 8 juli), 6 weken na de eerste behandeling (op 21 augustus) en 2 weken na de laatste behandeling (op 4 oktober). Hierbij werden referentieplanten (steeds 6 potten per plantensoort) gespoeld waarna het drooggewicht van hun bovengrondse en ondergrondse levende biomassa bepaald werd (zie 3.4.2). De resultaten worden weergegeven in sectie 4.2.1.1.

3.3.3. Experiment 3:

Invloed tijdstip van behandeling gedurende de dag op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten.

3.3.3.1. Doelstelling

De Cauwer *et al.* (2014) toonden aan dat de heetwatergevoeligheid van plantensoorten varieert gedurende de dag en dat planten de hoogste gevoeligheid toonden bij behandeling in de namiddag.

Vermoedelijk houdt dit verband met de relatieve waterinhoud van de plant die fluctueert gedurende de dag.

In dit experiment wordt nagegaan in welke mate de resultaten van voorgaand onderzoek bevestigd kunnen worden en in welke mate de dagvariatie in heetwatergevoeligheid van plantensoorten verklaard kan worden door plantfysiologische factoren.

Onderzoeksvragen

- 1) Op welk moment van de dag is de heetwatergevoeligheid van de plantensoorten het grootst? [O5]
- 2) Is de dagvariatie in heetwatergevoeligheid gekoppeld aan de dagvariatie in bladdikte, waterinhoud of bladstand van de plant? [O6]

3.3.3.2. Proefopzet

Twee plantensoorten werden op verschillende tijdstippen van de dag behandeld met verschillende energiedosissen. Elke combinatie (plantensoort x dagtijdstip x energiedosis) lag aan in 3 parallellen in een compleet gerandomiseerd blokontwerp. Dit experiment werd in tweevoud (Exp. 3a en 3b) uitgevoerd.

Lolium perenne 'Plenty' en *T. officinale* werden gezaaid op 22 (Exp. 3a) en op 28 mei (Exp. 3b) en opgekweekt tot juli. De planten van Exp. 3a werden behandeld op 17 juli, die van Exp. 3b op 18 juli. De planten werden om 2, 4, 6, 8, 10 of 12 uren na zonsopkomst (UNZ) behandeld met 8 verschillende energiedosissen (inclusief controle) wat overeenstemde met behandelingen om 9, 11, 13, 15, 17 en 19 uur. Elke plant werd slechts 1 maal behandeld. De toegediende energiedosissen en corresponderende waterlaagdiktes worden weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16: De toegediende energiedosissen en corresponderende waterlaagdiktes (Exp. 1a en 1b)

	Heetwaterbehandelingen							
Energiedosis (kJ m ⁻²)	0	147	294	441	589	736	883	1180
Waterlaagdikte (mm)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2

Gedurende de behandelingsdagen van Exp. 3a en 3b werden verschillende biologisch-fysiologische en meteorologische metingen verricht. De volgende biologisch-fysiologische parameters werden gemeten: bladdikte, het drogestofgehalte en bladstand. Ten eerste werd het dagverloop van de bladdikte bepaald. De bladdikte weerspiegelt de relatieve waterinhoud van een plant (Búrquez, 1987). De bladdikte werd in dit experiment op niet-destructieve wijze bepaald gebruikmakend van sensortechnologie met zogenaamde leafclips die bevestigd worden op de bladschijf van een plant. Deze sensoren produceren meetwaarden uitgedrukt in voltages die via een soortspecifieke calibratierechte omgezet kunnen worden in bladdiktes. In dit experiment werden op 16 juli twee bladklemmen (Leafsen, Isreal) bevestigd (zie Fig. 10 en 11) met name één op een bladschijf van een *L. perenne* plant en één op een bladschijf van een *T. officinale* plant. Deze bladklemmen gaven om de 5 min een meetwaarde (uitgedrukt in voltage).



Figuur 10: Bladklem bevestigd op *T. officinale* (links) en *L. perenne* (rechts).



Figuur 11: De opstelling gebruikt voor de meteorologische waarnemingen en het meten van de bladdikte met sensortechnologie (geplaatst door het Laboratorium voor Plantecologie, Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, UGent).

3.3.3.3. Metingen

Plantkarakteristieken

Om aan te geven in welk fenologisch stadium de planten zich op moment van behandelen bevonden, werd voor iedere gebruikte plantensoort een aantal plantkarakteristieken bepaald. De hoogte van alle planten werd vanaf het potsubstraat gemeten. Daarnaast werd bij *L. perenne* het aantal stoelen per plant en bij *T. officinale* het aantal groene en verdorpe bladeren per plant geteld. De resultaten van deze metingen staan weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17: Plantkarakteristieken met SE van de gebruikte testsoorten, gemeten op 17 juli (Exp. 3a) en 18 juli (Exp. 3b) net voor behandeling

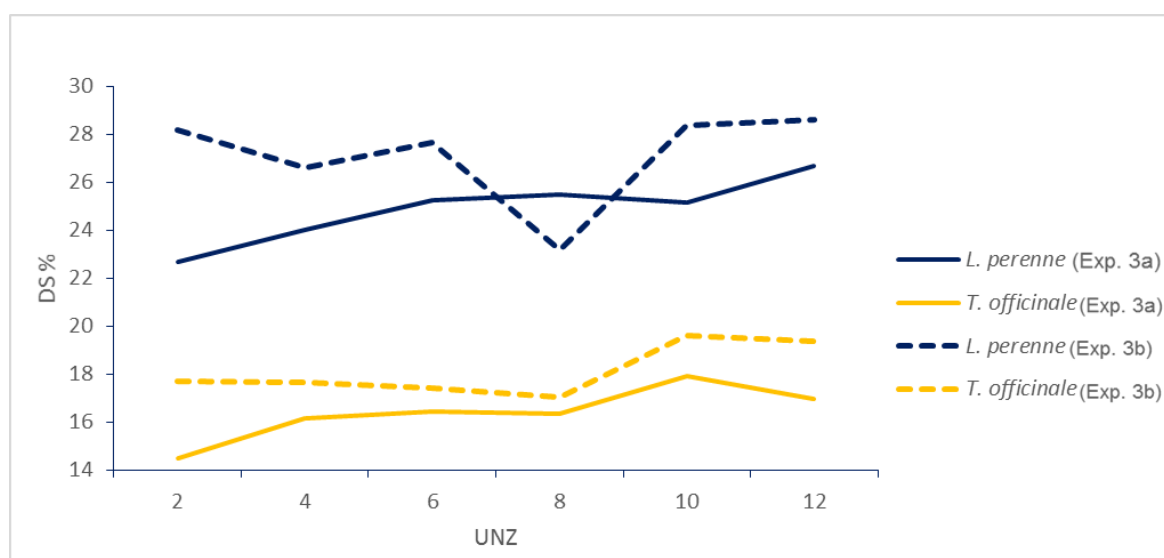
Plantensoort	Hoogte (cm)	Aantal groene bladeren	Aantal verdorpe bladeren	Aantal dagen na zaai	Aantal stoelen
Experiment 3a					
<i>L. perenne</i>	18.8 ± 1.76	-	-	56	9.9 ± 0.88
<i>T. officinale</i>	13.6 ± 1.64	7.1 ± 0.71	1.7 ± 0.60	56	-
Experiment 3b					
<i>L. perenne</i>	18.4 ± 2.61	-	-	51	11.8 ± 1.65
<i>T. officinale</i>	13.5 ± 0.94	6.6 ± 0.57	2.8 ± 0.53	51	-

Het droge stofgehalte gedurende de behandelingsdagen

Op elk tijdstip van behandelen werd het drogestofgehalte (in %), het procentueel aandeel van de drogestof in de totale verse stof, van de geteste plantensoorten bepaald. Er werden telkens 4 potten van beide plantensoorten bemonsterd en gedroogd (75°C gedurende 14 uur). De resultaten worden weergegeven in Tabel 18 en Fig. 12.

Tabel 18: Het drogestofgehalte met SE van de testsoorten, bepaald net voor elke behandeling op 17 juli (Exp.3a) en 18 juli (Exp.3b), tijdstip van zonsopkomst: 5u40

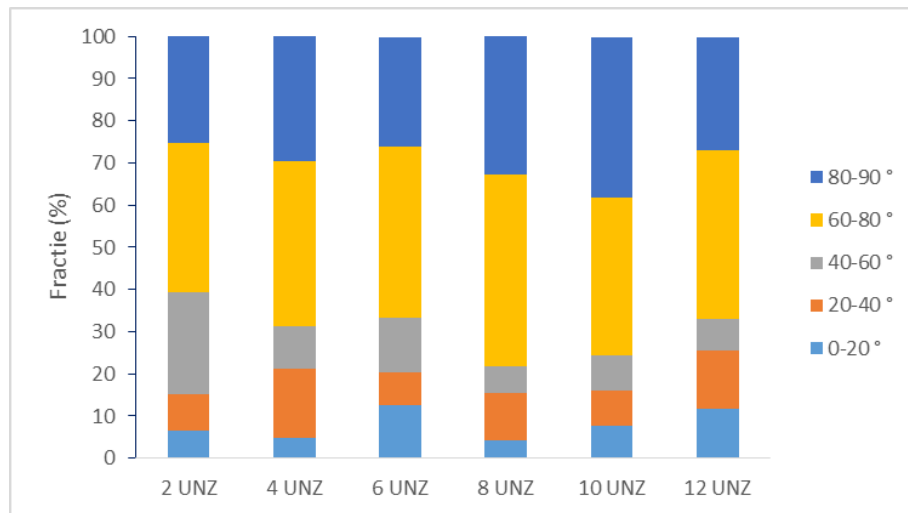
Tijdstip gedurende de dag (UNZ)	Drogestofgehalte (%)			
	Experiment 3a		Experiment 3b	
	<i>L. perenne</i>	<i>T. officinale</i>	<i>L. perenne</i>	<i>T. officinale</i>
2	22.7 ± 2.73	14.5 ± 1.78	28.2 ± 1.53	17.7 ± 1.78
4	24.0 ± 1.19	16.1 ± 2.53	26.6 ± 3.10	17.7 ± 1.96
6	25.2 ± 0.70	16.4 ± 0.98	27.7 ± 2.54	17.4 ± 1.25
8	25.5 ± 3.19	16.3 ± 1.14	23.2 ± 1.25	17.0 ± 2.82
10	25.1 ± 1.70	17.9 ± 3.97	28.4 ± 1.01	19.6 ± 2.48
12	26.7 ± 1.50	17.0 ± 2.52	28.6 ± 2.05	19.4 ± 4.96



Figuur 12: Het drogestofgehalte (DS) van de testsoorten *L. perenne* en *T. officinale* op elk behandelings-tijdstip (UNZ: uren na zonsopkomst) op 17 juli (Exp.3a) en 18 juli (Exp.3b), tijdstip van zonsopkomst: 5u40.

Bladstand gedurende de dag

In experiment 3b werd bovendien de bladstand van *T. officinale* planten periodiek opgemeten (Fig. 13). Hiertoe werd voor elk blad de bladhoek gemeten die de bladschijf maakt met de loodlijn op het potoppervlak. Hieruit kon dan voor iedere bladstandcategorie het aandeel bladeren bepaald worden. Deze niet- destructieve meting werd vóór elke behandeling uitgevoerd op 8 onbehandelde planten



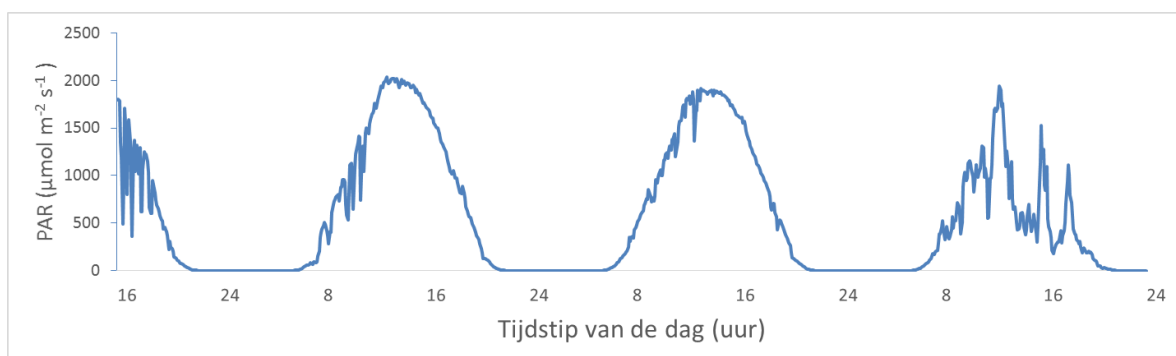
Figuur 13: Procentueel aandeel bladeren van *T. officinale* per bladstandcategorie op elk behandelingstijdstip (UNZ: uren na zonsopkomst) op 18 juli (Exp. 3b). De bladstandcategorie stelt de hoek voor die het blad maakt ten opzichte van een volledig verticale bladstand. De meest erecte bladeren behoren tot de bladstandcategorie 0-20°, tijdstip van zonsopkomst: 5u40.

De meteorologische waarnemingen gedurende de behandelingsdagen

De relatieve vochtigheid (RV in %), het temperatuursverloop (in °C) en de fotosynthetisch actieve straling¹³ (PAR in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) werden gedurende de behandelingsdagen gemeten bij *L. perenne* en *T. officinale*. Deze meteorologische waarnemingen worden weergegeven in Tabel 19 en Fig. 14 en 15.

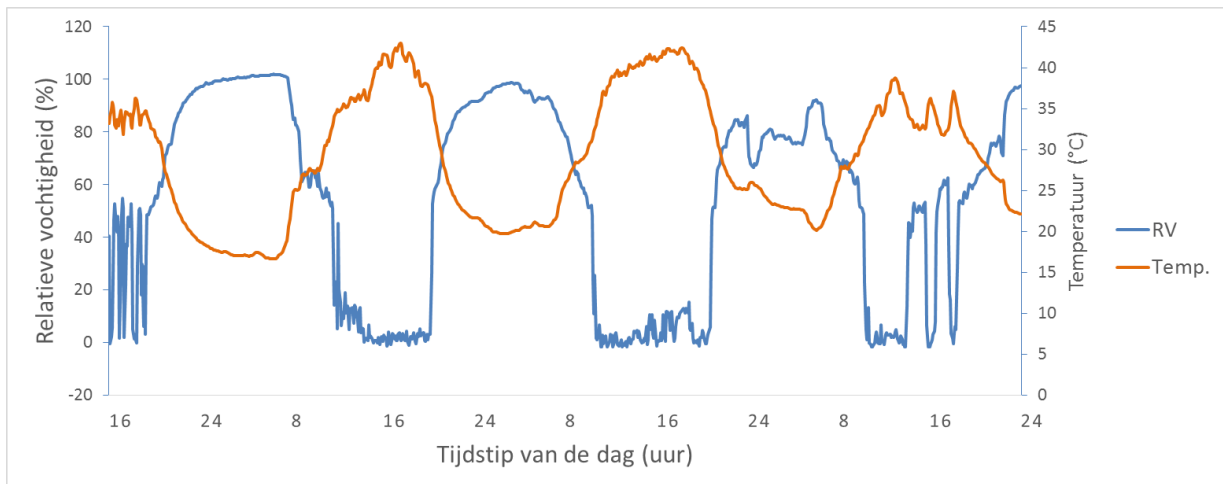
Tabel 19: De luchttemperaturen op elk behandelingstijdstip (UNZ: uren na zonsopkomst) gedurende 17 juli (Exp. 3a) en 18 juli (Exp.3b), tijdstip van zonsopkomst: 5u40

Tijdstip gedurende de dag (UNZ)	Temperatuur (°C)	
	Experiment 3a	Experiment 3b
2	27.0742	28.4100
4	30.4922	34.7808
6	35.6567	39.2729
8	38.0125	41.1058
10	42.1779	42.3021
12	39.5171	40.6338



Figuur 14: Verloop van de fotosynthetisch actieve straling (PAR) tijdens de periode van 16 tem 19 juli (17 en 18 juli zijn de behandelingsdagen van resp. Exp. 3a en Exp. 3b).

¹³ fotosynthetisch actieve straling (PAR): de frequentie binnen het lichtspectrum die organismen kunnen gebruiken voor hun fotosynthese (400 – 700 nm).



Figuur 15: Verloop van de relatieve vochtigheid (RV) en luchttemperatuur tijdens de periode van 16 tem 19 juli (17 en 18 juli zijn de behandelingsdagen van resp. Exp. 3a en Exp. 3b).

3.4. Metingen

3.4.1. Bedekking

Aangezien het effect van de behandeling pas na enkele dagen waarneembaar is, werd de bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling bepaald (Hansson, 2002). Om de bedekking te bepalen werden de planten gefotografeerd met een CANON PowerShot SX150 IS (14.1 megapixels), verbonden aan een statief op 55 cm boven het potoppervlak. Om een uniforme belichting te bekomen werden deze foto's steeds in de schaduw genomen. Deze foto's werden vervolgens geanalyseerd met het beeldverwerkingsprogramma ImageJ 1.48v. Door een selectie op groene (en bij sommige plantensoorten ook rode) kleur door te voeren met juiste instelling van de tint, verzadiging en intensiteit, konden de overlevende plantendelen uit de foto geselecteerd worden en het ermee corresponderend aantal pixels berekend worden (zie Fig. 16). Het aantal pixels per pot werd vervolgens omgezet naar de bedekkingsgraad (in $\text{cm}^2 \text{pot}^{-1}$) door de data te vermenigvuldigen met een omrekeningsfactor ($3851.5 \text{ pixels m}^{-2}$). Deze omrekeningsfactor werd bekomen door millimeterpapier te fotograferen vanop dezelfde hoogte als waarvan de planten gefotografeerd waren en vervolgens te bepalen hoeveel pixels 1 cm^2 hok bevatte.



Figuur 16: Overzicht van de verschillende stappen bij de beeldverwerking met ImageJ op *T. officinale*. Links: de te analyseren pot; midden: de selectie van de levende biomassa; rechts: afdruk van de geanalyseerde pixels.

Op dezelfde manier werden de bladoppervlakten van de verschillende plantensoorten uit experiment 1 bepaald (Fig. 17).



Figuur 17: Bepaling van de bladoppervlakte van *T. officinale* met behulp van ImageJ. Links: de te analyseren bladeren; midden: de selectie van de levende biomassa; rechts: afdruk van de geanalyseerde pixels.

3.4.2. Drooggewicht van de levende biomassa

Veertien dagen na de behandeling werd het drooggewicht van de levende biomassa bepaald. Bij experimenten 1 en 3 werd de bovengrondse biomassa bepaald. Hiervoor werden de planten op ongeveer 3 mm boven het substraat afgeknipt. Vervolgens werden alle levende plantendelen in een schaalje gelegd en in de droogstoof geplaatst ter bepaling van het drooggewicht. Bij experiment 2 werd zowel de bovengrondse als ondergrondse biomassa bepaald. Om de ondergrondse biomassa te kunnen bepalen werden de planten gespoeld met water totdat ze ontdaan waren van al het substraat. Daarna werden de planten per pot geteld, werd de bovengrondse en ondergrondse biomassa van elkaar gescheiden en per pot in een schaal in de droogstoof geplaatst (zie Fig. 18). Alle geogoste planten werden 14 uur gedroogd bij 75°C waarna de gedroogde biomassa werd afgewogen.



Figuur 18: Het wegspoelen van substraat rondom de ondergrondse biomassa (links) en de gewassen planten in de droogstoof (rechts) voor de bepaling van de droge biomassa.

3.5. Statistische dataverwerking

Voor de statistische dataverwerking van drie dosis-responsproeven werd gebruik gemaakt van Excel (versie 2013, Microsoft) en het programma RStudio (versie 0.98.507, RStudio Inc., 2009-2013). Met behulp van het R-software extensie pakket drc voor dosis-responscurves kunnen verschillende dosis-responsmodellen aan de data gefit worden, kan onderzocht worden welk model de beste fit oplevert en kunnen effectieve dosissen (ED_x) berekend worden (Ritz & Streibig, 2005; Knezevic *et al.*, 2007).

Bij het opstellen van de dosis-responscurves werden vier verschillende modellen gefit aan de data. Voordat de data gefit werd, werd eerst met een Levene test gekeken of deze homoscedastisch (gelijkheid van varianties) was. Indien dit niet het geval was, werd een Box-Cox transformatie uitgevoerd op de modellen.

Het eerste gefitte model is het log-logistische model (Model 1) met vier parameters.

$$Y = c + \frac{d-c}{1+\exp\{b(\log x - \log e)\}} \quad (\text{Model 1})$$

Met de volgende parameters:

- e: ED₅₀-waarde (energiedosis nodig voor een 50% biomassa- of bedekkingsreductie)
- b: de relatieve helling van de curve bij het punt e
- c: de ondergrens van de curve
- d: de bovengrens van de curve

Hierbij is Y de bedekking (in cm²) of droge biomassa (in g) per pot en x de toegediende energiedosis (in kJ m⁻²). Vervolgens werd een ANOVA uitgevoerd om te zien of het gerechtvaardigd was het log-logistische model met vier parameters te vereenvoudigen naar een drie-parameter model. Hierbij wordt de ondergrens gelijk gesteld aan nul (c = 0). Het derde model dat gefit werd is het Weibull model (Model 2) met dezelfde vier parameters als in model 1.

$$Y = c + (d - c) \exp\{-\exp[b(\log x - \log e)]\} \quad (\text{Model 2})$$

Opnieuw werd met ANOVA gekeken of dit model vereenvoudigd kon worden naar een drie-parametermodel waarbij de ondergrens gelijk gesteld wordt aan nul (c = 0). Voor al deze modellen werd de Lack-of-fit test uitgevoerd en vervolgens werd het model gekozen dat de beste fit gaf. De gebruikte modellen en de bijhorende parameters van de verschillende dosis-responscurves worden weergegeven in Bijlage 1.

Om de verschillende dosis-responscurves onderling te vergelijken werden bij experimenten 1 en 3 de effectieve dosissen (ED₅₀ en ED₉₀) met bijhorende selectiviteitindices (SI(50,50) en SI(90,90)) bepaald. De selectiviteitindices SI(50,50), en SI(90,90) zijn respectievelijk de ratio tussen de ED₅₀ en ED₉₀ dosissen van twee verschillende dosis-responscurves die vergeleken werden.

Voor de analyse van de bedekking of droge biomassa werden absolute waarden gebruikt maar voor de grafische voorstelling werd gebruik gemaakt van relatieve data, zoals aanbevolen door Knezevic *et al.* (2007). Hierbij werd de bedekking of droge biomassa per pot uitgedrukt als percentage van de gemiddelde bedekking of droge biomassa van de controle.

De invloed van de behandelingen op de droge biomassa (uitgedrukt in g pot⁻¹) binnen plantensoorten werd horizontaal of verticaal vergeleken met een one-way ANOVA (met één factor, nl. bestrijdingsfrequentie, behandelingstijdstip, dosis of hulpstof). Bij een horizontale vergelijking werd per toegepaste energiedosis een vergelijking uitgevoerd tussen de hulpstoffen (bij Exp. 1a en 1b), de bestrijdingsfrequenties (bij Exp. 2) of de behandelingstijdstippen (bij Exp. 3a en 3b). Hiervoor werd de data opgesplitst volgens toegepaste dosis zodanig dat per dosis een dataset met enkel de te vergelijken hulpstoffen, bestrijdingsfrequenties of behandelingstijdstippen bekomen werd. Bij een verticale vergelijking werden de verschillende toegepaste dosissen onderling vergeleken. Hiervoor werd de data opgesplitst volgens de toegepaste factoren (hulpstof, bestrijdingsfrequentie of behandelingstijdstip)

zodat datasets met enkel één te vergelijken dosis-responsreeks overbleven. Deze opsplitsingen van de datasets werden uitgevoerd om mogelijke interactie-effecten tussen de factoren (bv. dosis en bestrijdingsfrequentie bij Exp. 2) uit te sluiten.

De data werd steeds gecontroleerd op normaliteit (Lilliefors test) en homoscedasticiteit (Levene test) en indien niet voldaan werd aan één van deze voorwaarden, werd de data getransformeerd met een Box-Cox transformatie of werd de niet-parametrische Kruskal-Wallis rank sum test uitgevoerd. Om significante verschillen aan te duiden, werd gebruik gemaakt van een Tukey HSD test (in geval van homoscedasticiteit) of de Bonferroni test (indien geen homoscedasticiteit). Voor alle statistische testen werd gewerkt met een significantieniveau van 5%.

Op alle data werd eerst een ANOVA uitgevoerd om significante interacties te onderzoeken. Bij experiment 1 werd een vierweg-variantieanalyse uitgevoerd, wat aantoonde dat er een significante experiment x plantenpopulatie x dosis x hulpstof interactie was. Daarom werd de data per experiment en plantenpopulatie afzonderlijk geanalyseerd. Bij experiment 2 werd een drieweg-variantieanalyse uitgevoerd. Deze toonde aan dat er een significante plantensoort x dosis x frequentie interactie was, waardoor de data per plantensoort afzonderlijk geanalyseerd werd. Bij experiment 3 werd opnieuw een vierweg-variantieanalyse uitgevoerd, welke een significante experiment x plantensoort x dosis x dagtijdstip interactie aantoonde. Opnieuw werden hierdoor de data per experiment en plantensoort afzonderlijk geanalyseerd.

4. Resultaten en discussie

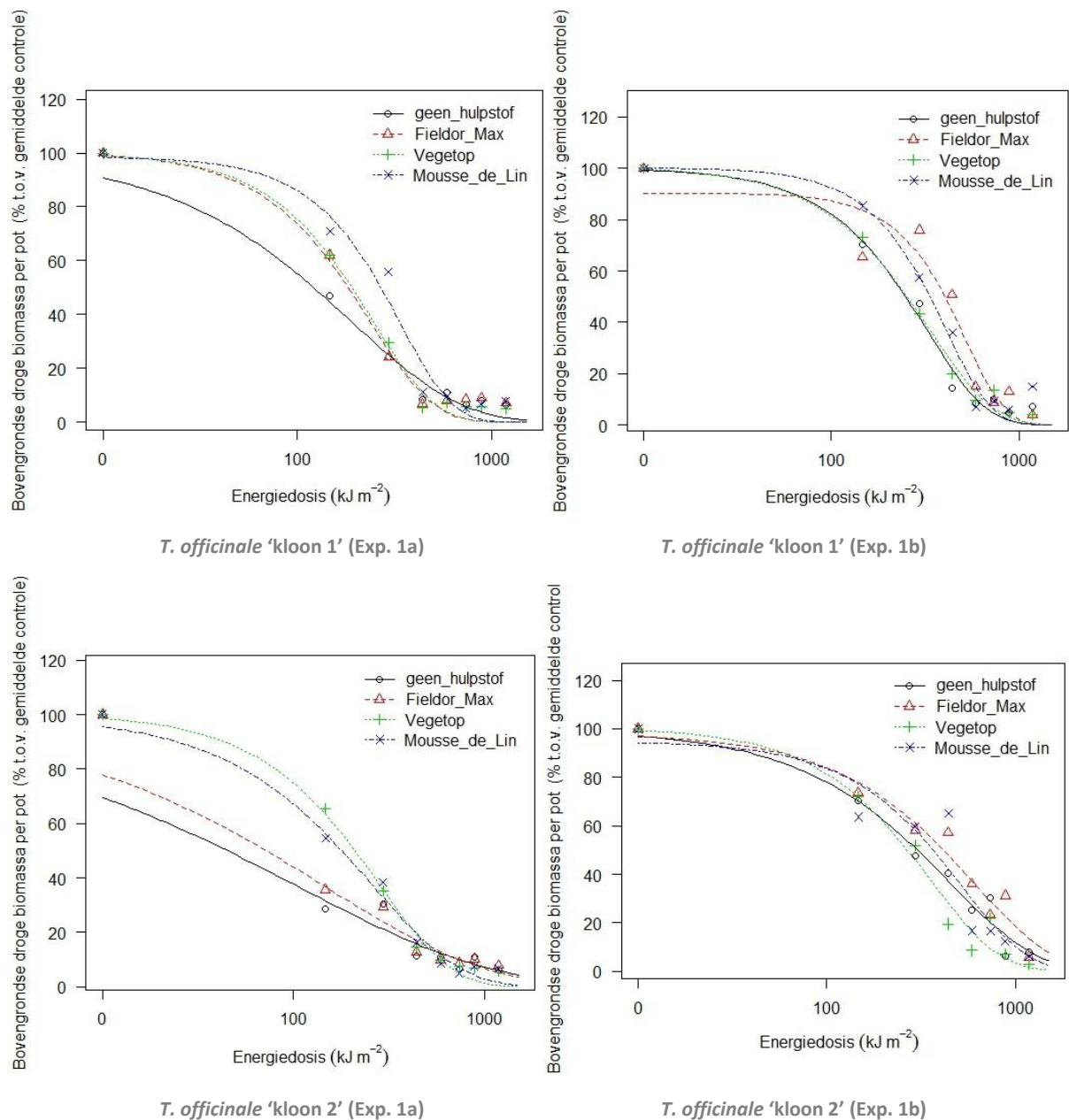
4.1. Experiment 1

4.1.1. Resultaten

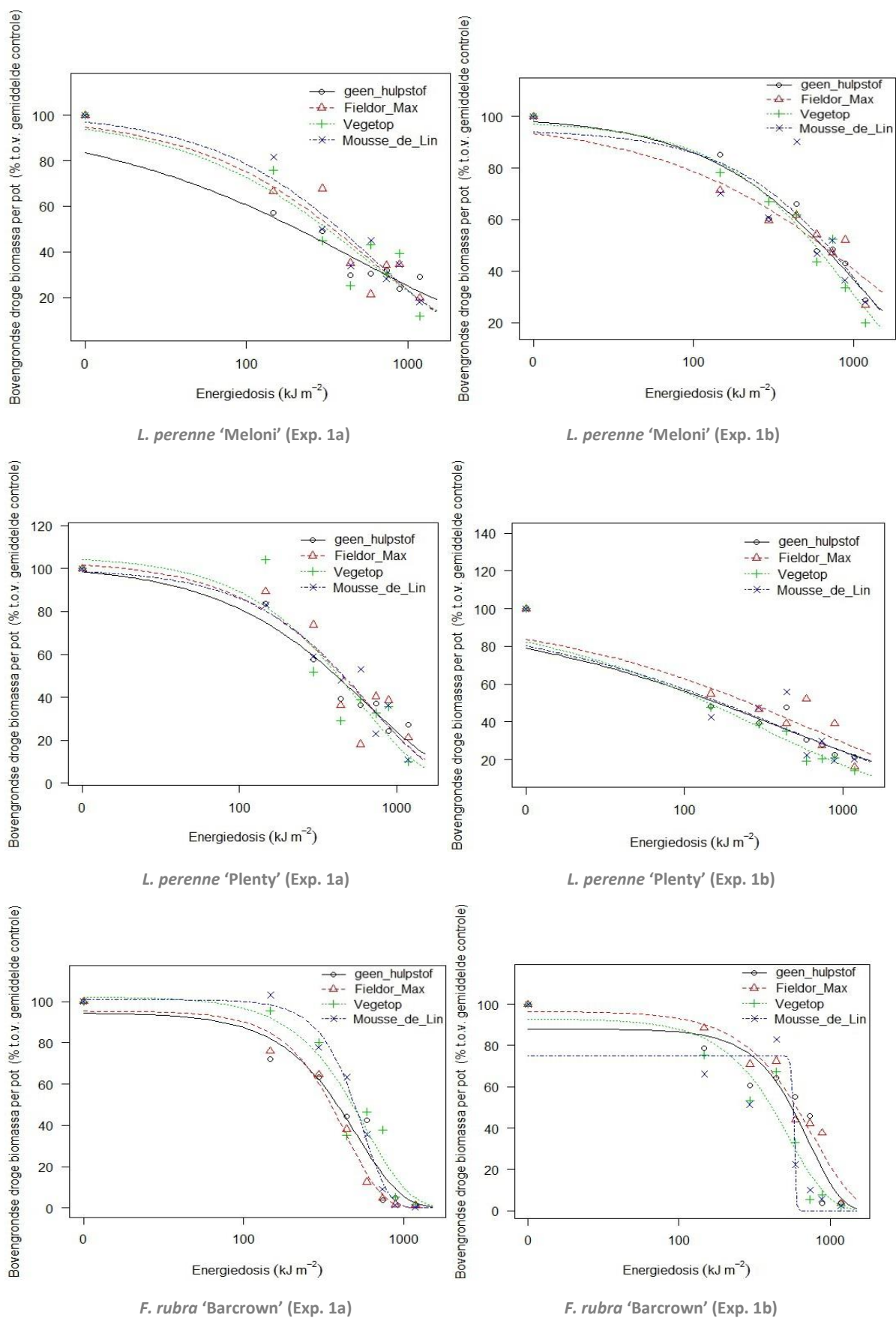
4.1.1.1. Invloed van hulpstoffen op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten

Bovengrondse droge biomassa

Figuren 19 en 20 tonen de dosis-responscurves van de plantenpopulaties behandeld met heet water, op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling. De bijbehorende ED-waarden en significante verschillen worden weergegeven in Tabel 20.



Figuur 19: Dosis - responscurves, gegroepeerd per soort en experiment (1a en 1b), voor *T. officinale* behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof (Respons: bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling).



Figuur 20: Dosis - responscurves, gegroepeerd per soort en experiment (1a en 1b), voor *L. perenne* en *F. rubra* behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof (Respons: bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling).

In experiment 1a is er geen significant verschil in ED₉₀ tussen heetwaterbehandelingen met of zonder toevoeging van een hulpstof en dit voor alle populaties uitgezonderd *F. rubra* 'Barcrown' waarbij de toevoeging van de hulpstof Fieldor Max zorgde voor een significante reductie van de ED₉₀ met 23% t.o.v. heet water zonder hulpstof. Experiment 1b toont meer significante verschillen in ED₉₀ waarden. Bij *T. officinale* 'kloon 2' resulteerde de toevoeging van Vegetop in een significante reductie van de ED₉₀ met 34%. Bij *F. rubra* 'Barcrown' resulteerde de toevoeging van Mousse de Lin in een 45% lagere ED₉₀.

In experiment 1a is er enkel bij *T. officinale* een significant verschil in ED₅₀ tussen heetwaterbehandelingen met of zonder toevoeging van een hulpstof. Bij 'kloon 1' zorgde de toevoeging van Mousse de Lin voor een significante verhoging van de ED₅₀ met 126% t.o.v. heet water zonder hulpstof. Bij 'kloon 2' zorgde de toevoeging van Vegetop voor een significante verhoging van de ED₅₀ met 360%. In experiment 1b resulteerde de toevoeging van een hulpstof enkel bij *T. officinale* 'kloon 1' in een significante verhoging van de ED₅₀. De toevoeging van Fieldor Max resulteerde in een 75% verhoging van de ED₅₀.

Tabel 20: De ED₅₀- en ED₉₀- waarden (kJ m⁻²) met SE op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling voor de verschillende plantenpopulaties behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof (Exp. 1a en 1b)

Populatie	Hulpstof	Experiment 1a		Experiment 1b	
		ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	-	205.7 ± 65.64 a	3158.5 ± 1427.52 a	630.4 ± 111.07 a	2758.6 ± 892.33 ab
	Fieldor Max	341.1 ± 60.43 a	1876.6 ± 429.63 a	649.0 ± 158.58 a	5055.4 ± 3020.36 a
	Vegetop	308.2 ± 57.75 a	1925.7 ± 454.07 a	584.6 ± 96.26 a	2056.0 ± 513.12 b
	Mousse de Lin	366.8 ± 57.82 a	1794.8 ± 360.45 a	735.3 ± 131.56 a	2569.0 ± 1039.34 ab
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	-	398.9 ± 73.13 a	1778.3 ± 434.04 a	163.6 ± 93.32 a	3546.8 ± 2643.52 a
	Fieldor Max	424.4 ± 64.65 a	1537.6 ± 303.57 a	260.8 ± 116.47 a	4370.2 ± 3273.39 a
	Vegetop	392.0 ± 54.08 a	1274.9 ± 202.25 a	141.4 ± 69.07 a	1727.0 ± 779.73 a
	Mousse de Lin	458.8 ± 74.86 a	1528.6 ± 286.48 a	174.8 ± 95.63 a	3300.2 ± 2303.53 a
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	-	406.3 ± 50.47 ab	878.8 ± 82.12 ac	617.3 ± 98.24 a	1099.1 ± 173.39 ab
	Fieldor Max	364.3 ± 37.08 a	675.9 ± 59.01 b	621.2 ± 76.59 a	1314.3 ± 184.48 a
	Vegetop	469.4 ± 39.77 b	987.6 ± 80.38 a	440.9 ± 76.42 a	898.6 ± 117.12 b
	Mousse de Lin	492.0 ± 29.01 b	763.6 ± 45.52 bc	578.3 ± 30.40 a	601.7 ± 36.59 c
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	-	120.3 ± 31.26 a	559.8 ± 110.73 a	248.3 ± 33.87 a	593.6 ± 86.66 a
	Fieldor Max	181.0 ± 24.45 ab	444.0 ± 86.99 a	435.6 ± 59.47 b	787.0 ± 123.27 a
	Vegetop	190.2 ± 24.32 b	453.3 ± 68.13 a	250.3 ± 34.26 a	640.4 ± 91.52 a
	Mousse de Lin	272.4 ± 30.96 c	570.6 ± 67.38 a	334.0 ± 35.60 b	657.1 ± 77.16 a
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	-	45.2 ± 30.88 a	737.8 ± 212.30 a	302.2 ± 57.19 ab	1087.7 ± 188.00 a
	Fieldor Max	71.8 ± 33.70 a	734.1 ± 182.06 a	425.0 ± 74.48 a	1365.3 ± 243.80 a
	Vegetop	207.7 ± 28.38 b	583.1 ± 84.02 a	264.9 ± 40.69 b	719.6 ± 112.04 b
	Mousse de Lin	179.0 ± 31.76 b	633.1 ± 95.52 a	389.0 ± 71.57 ab	1021.0 ± 153.95 ab

Niet significante verschillen (gebaseerd op de selectiviteitsindices en bijbehorende *P*-waarden) hebben dezelfde letter. Enkel vergelijking binnen eenzelfde plantenpopulatie en experiment.

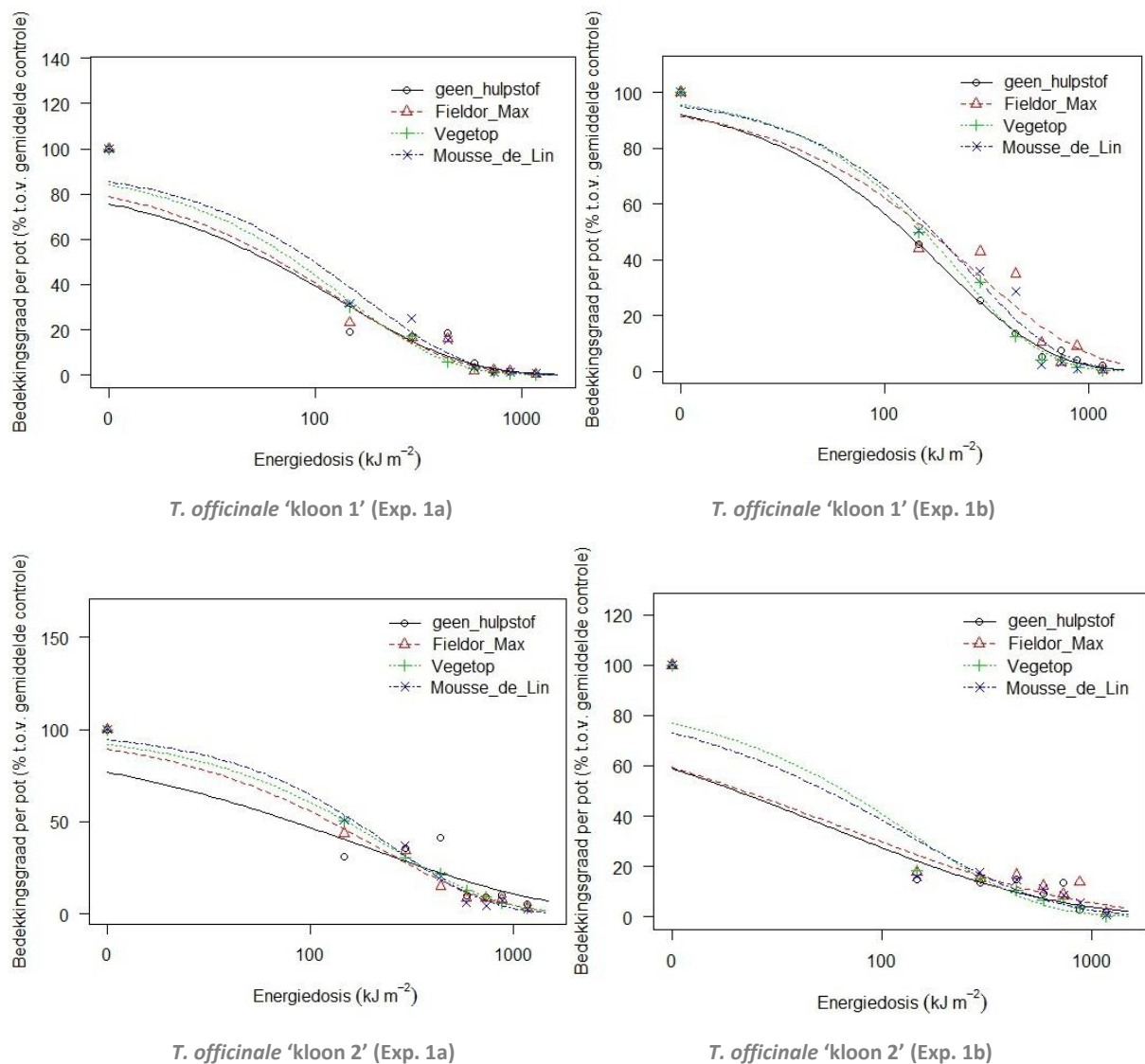
Bedekking

De dosis-responscurves van de plantenpopulaties behandeld met heet water, op basis van de bedekking 7 dagen na behandeling, en de bijbehorende ED-waarden worden weergegeven in de figuren 21 en 22 en Tabel 21.

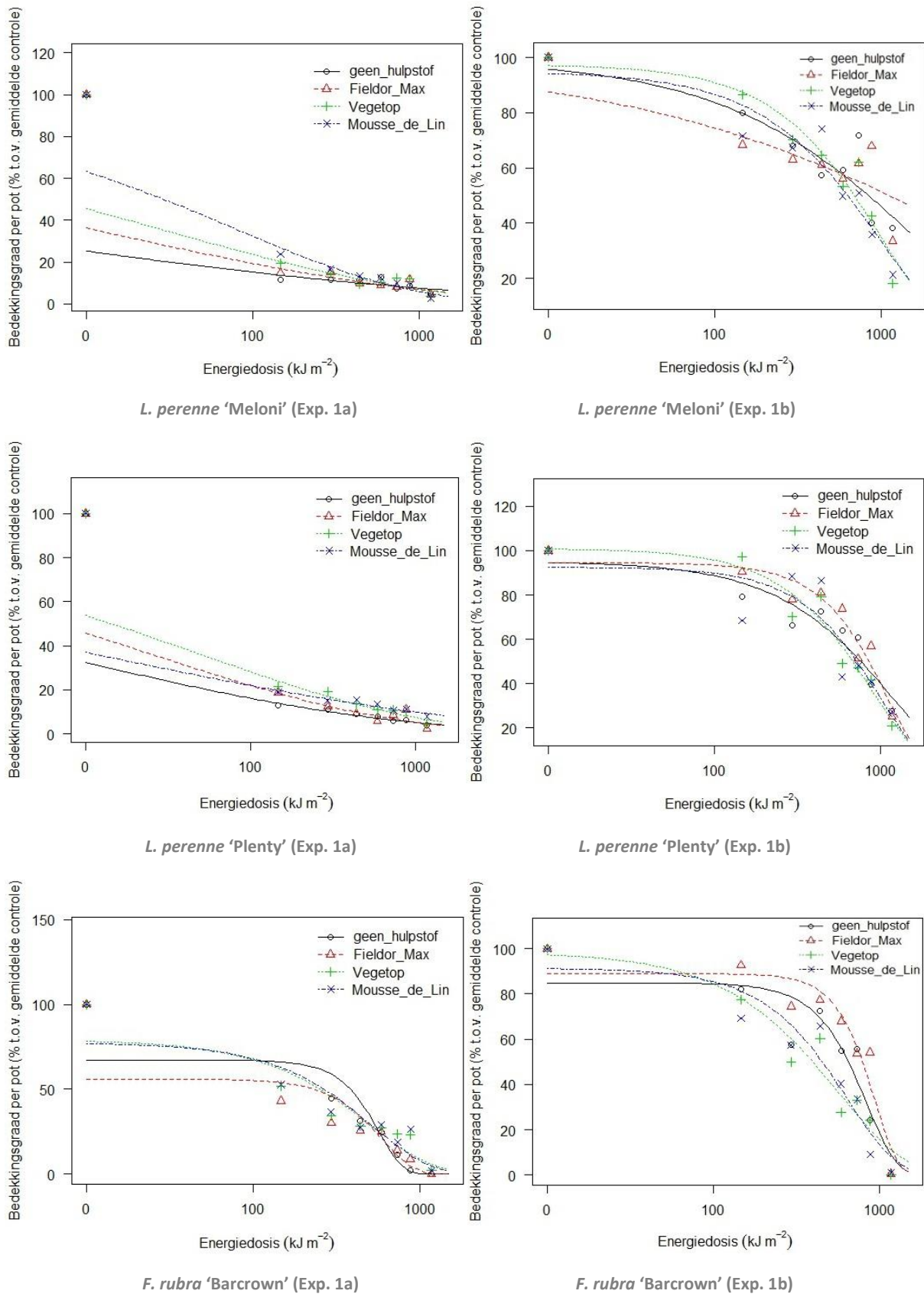
In experiment 1a resulteerde de toevoeging van sommige hulpstoffen in een significante verhoging van de ED₉₀. De toevoeging van Vegetop en Mousse de Lin resulteerden in een verhoging tot 220% en 39% van de ED₉₀ relatief t.o.v. heet water zonder hulpstof bij respectievelijk *L. perenne* 'Plenty' en *F. rubra* 'Barcrown'. Bij experiment 1b zijn er enkel bij *L. perenne* 'Meloni' en *T. officinale* 'kloon 1' significante effecten van hulpstof toevoeging. Bij *L. perenne* 'Meloni' resulteerde de toevoeging van

Vegetop en Mousse de Lin in een significante reductie van de ED₉₀ met respectievelijk 63% en 61%. Bij *T. officinale* 'kloon 1' resulteerde de toevoeging van Fieldor Max echter in een 49% hogere ED₉₀.

In experiment 1a resulteerde de toevoeging van sommige hulpstoffen in een significante verhoging van de ED₅₀ bij *L. perenne*. Bij de populatie 'Meloni' resulteerde de toevoeging van Vegetop en Fieldor Max in ED₉₀-waarden die respectievelijk 67 en 319 keer zo groot zijn t.o.v. heet water zonder hulpstof. Bij populatie 'Plenty' resulteerde de toevoeging van Fieldor Max en Vegetop in ED₉₀-waarden die respectievelijk 7 en 15 keer zo groot zijn t.o.v. heet water zonder hulpstof. In experiment 1b is er bij geen enkele populatie een significant verschil in ED₅₀ tussen heetwaterbehandelingen met of zonder toevoeging van een hulpstof uitgezonderd bij *F. rubra* 'Barcrown' en *T. officinale* 'kloon 2'. Bij *F. rubra* 'Barcrown' zorgde de toevoeging van Vegetop en Mousse de Lin voor significante reducties in ED₅₀ met respectievelijk 44% en 31%. Bij *T. officinale* 'kloon 2' zorgde de toevoeging van Vegetop voor een significante verhoging van de ED₅₀ met 267%.



Figuur 21: Dosis - responscurves, gegroepeerd per soort en experiment (1a en 1b), voor *T. officinale* behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof (Respons: bedekingsgraad 7 dagen na behandeling) (Exp. 1a en 1b).



Figuur 22: Dosis - responscurves, gegroepeerd per soort en experiment (1a en 1b), voor *L. perenne* en *F. rubra* behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof (Respons: bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling) (Exp. 1a en 1b).

Tabel 21: De ED₅₀- en ED₉₀- waarden (kJ m⁻²) met SE op basis van de bedekkingsgraad, 7 dagen na behandeling voor de verschillende plantenpopulaties behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof (Exp. 1a en 1b)

Populatie	Hulpstof	Experiment 1a		Experiment 1b	
		ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	-	0.1 ± 0.24 a	459.9 ± 185.02 a	851.1 ± 157.18 a	5401.2 ± 2668.44 a
	Fieldor Max	1.8 ± 2.54 a	519.5 ± 135.83 a	1149.6 ± 443.39 a	33755.5 ± 49859.00 a
	Vegetop	6.7 ± 6.38 b	607.0 ± 127.03 a	714.1 ± 80.81 a	2004.0 ± 386.18 b
	Mousse de Lin	31.9 ± 15.86 c	617.2 ± 86.64 a	678.9 ± 93.23 a	2128.0 ± 526.91 b
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	-	1.0 ± 1.20 a	310.4 ± 57.02 a	816.4 ± 145.36 ab	2466.2 ± 1077.51 a
	Fieldor Max	6.7 ± 4.17 b	432.9 ± 51.74 a	896.6 ± 89.43 a	1708.4 ± 376.22 a
	Vegetop	14.6 ± 7.22 b	690.7 ± 79.19 b	674.9 ± 86.39 b	1649.5 ± 311.96 a
	Mousse de Lin	1.4 ± 1.81 ab	993.2 ± 228.13 b	781.2 ± 95.10 ab	1708.9 ± 402.18 a
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	-	507.8 ± 65.14 a	751.8 ± 41.92 a	728.9 ± 87.30 a	1189.8 ± 171.56 a
	Fieldor Max	507.1 ± 109.52 a	854.6 ± 61.35 ab	842.2 ± 58.92 a	1235.3 ± 115.18 a
	Vegetop	361.4 ± 176.69 a	1043.9 ± 119.99 b	404.9 ± 68.16 b	1241.8 ± 193.99 a
	Mousse de Lin	385.8 ± 172.37 a	1012.1 ± 106.22 b	499.6 ± 92.55 b	1139.5 ± 168.65 a
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	-	81.5 ± 31.79 a	426.2 ± 63.26 a	126.3 ± 20.00 a	538.5 ± 62.81 a
	Fieldor Max	82.6 ± 28.30 a	396.6 ± 54.69 a	169.1 ± 25.72 a	804.0 ± 84.09 b
	Vegetop	92.1 ± 25.53 a	364.2 ± 44.01 a	157.2 ± 18.91 a	516.3 ± 49.79 a
	Mousse de Lin	112.8 ± 32.06 a	447.5 ± 52.13 a	176.1 ± 21.44 a	615.2 ± 54.73 a
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	-	83.8 ± 67.30 a	1105.3 ± 525.93 a	23.6 ± 24.86 a	448.3 ± 134.17 a
	Fieldor Max	126.2 ± 56.99 a	667.1 ± 206.57 a	25.3 ± 28.93 ab	573.8 ± 174.76 a
	Vegetop	151.1 ± 57.28 a	703.9 ± 199.84 a	86.7 ± 44.71 b	430.5 ± 85.09 a
	Mousse de Lin	168.0 ± 55.28 a	635.1 ± 161.82 a	72.6 ± 48.76 ab	500.6 ± 111.22 a

Niet significante verschillen (gebaseerd op de selectiviteitsindices en bijbehorende *P*-waarden) hebben dezelfde letter. Enkel vergelijking binnen eenzelfde plantenpopulatie en experiment.

4.1.1.2. Fytotoxiciteit van hulpstoffen

Tabel 22 geeft voor elke plantenpopulatie de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling met water op kamertemperatuur (21.5°C bij Exp. 1a en 25.5 °C bij Exp. 1b) waaraan al dan niet een hulpstof toegevoegd was. Hieruit blijkt dat er geen significante verschillen zijn in bovengrondse droge biomassa tussen de behandelingen met of zonder toevoeging van een hulpstof. Er worden ook geen significante verschillen gevonden in bedekking, gemeten 7 dagen na behandeling (Tabel 23).

Tabel 22: Overzicht van de gemiddelde bovengrondse droge biomassa (g pot⁻¹) met SE, 14 dagen na behandeling, voor diverse plantenpopulaties behandeld met water op kamertemperatuur (21.5°C bij Exp. 1a en 25.5 °C bij Exp. 1b) met of zonder toevoeging van een hulpstof

Populatie	Hulpstof			
	-	Fieldor Max	Vegetop	Mousse de Lin
Experiment 1a				
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	3.95 ± 0.103 *	2.78 ± 0.410 *	4.22 ± 0.725 *	3.00 ± 0.167 *
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	2.95 ± 0.304 *	2.82 ± 0.303 *	2.46 ± 0.128 *	2.98 ± 0.276 *
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	1.77 ± 0.209 *	1.87 ± 0.102 *	1.58 ± 0.106 *	1.52 ± 0.095 *
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	1.93 ± 0.286 *	1.29 ± 0.002 *	1.61 ± 0.289 *	1.41 ± 0.221 *
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	2.04 ± 0.500 *	2.78 ± 0.219 *	2.07 ± 0.201 *	1.98 ± 0.353 *
Experiment 1b				
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	1.81 ± 0.068 *	1.96 ± 0.273 *	1.50 ± 0.163 *	1.59 ± 0.132 *
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	3.69 ± 0.821 *	3.22 ± 0.377 *	2.03 ± 0.090 *	2.84 ± 0.117 *
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	1.35 ± 0.049 *	1.50 ± 0.283 *	1.49 ± 0.189 *	1.23 ± 0.207 *
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	0.85 ± 0.091 *	0.92 ± 0.106 *	0.77 ± 0.105 *	0.89 ± 0.117 *
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	0.82 ± 0.049 *	0.96 ± 0.135 *	1.15 ± 0.262 *	1.39 ± 0.387 *

Biomassa-waarden binnen een soort en experiment gevolgd door een verschillend aantal asterixen zijn significant verschillend volgens Tukey HSD test (in geval van homoscedasticiteit) of de Bonferroni test (in geval van geen homoscedasticiteit) op het 5% significantieniveau.

Tabel 23: Overzicht van de gemiddelde bedekking door levende plantendelen ($\text{cm}^2 \text{pot}^{-1}$) \pm SE, 7 dagen na behandeling, voor diverse populaties behandeld met water op kamertemperatuur (25.5 °C) met of zonder toevoeging van een hulpstof (Exp. 1b)

Populatie	Hulpstof			
	-	Fieldor Max	Vegetop	Mousse de Lin
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	123.34 \pm 11.554 *	125.37 \pm 25.134 *	128.57 \pm 10.873 *	132.78 \pm 9.738 *
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	404.48 \pm 90.553 *	299.21 \pm 22.116 *	198.05 \pm 18.381 *	230.20 \pm 36.961 *
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	77.67 \pm 10.320 *	93.22 \pm 18.836 *	99.53 \pm 3.854 *	74.28 \pm 9.791 *
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	106.46 \pm 8.866 *	120.68 \pm 12.491 *	116.76 \pm 9.374 *	107.46 \pm 10.969 *
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	83.25 \pm 4.798 *	101.77 \pm 8.794 *	118.56 \pm 27.708 *	138.01 \pm 33.479 *

Bedekkingswaarden binnen een soort gevolgd door een verschillend aantal asterixen zijn significant verschillend volgens Tukey HSD test (in geval van homoscedasticiteit) of de Bonferroni test (in geval van geen homoscedasticiteit) op het 5% significantieniveau.

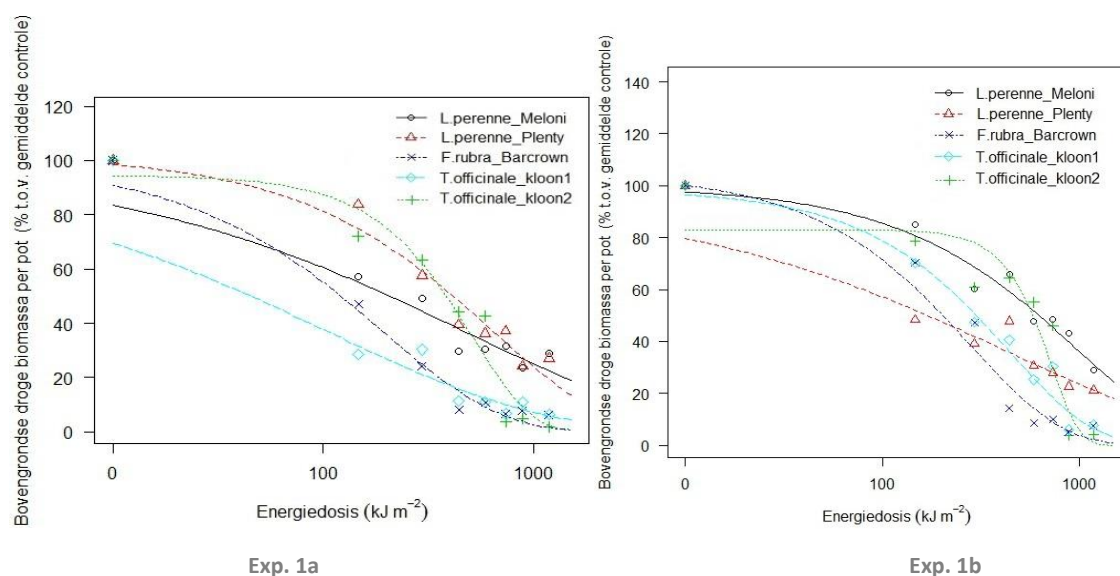
4.1.1.3. Verschil in heetwatergevoeligheid tussen plantenpopulaties en –soorten

Bovengrondse droge biomassa

Fig. 23 toont voor de experimenten 1a en 1b de dosis-responscurves van de verschillende plantenpopulaties op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling met heet water. Tabel 24 geeft de bijhorende ED-waarden en significante verschillen weer.

Soorten verschillen in heetwatergevoeligheid. De ED₉₀ bij *F. rubra* is zowel in Exp. 1a als 1b tot 1.5 keer lager dan die bij *T. officinale* en tot 5.6 (in Exp. 1a) en 4.6 keer (in Exp. 1b) lager dan die bij *L. perenne*. Ook de ED₅₀-waarden zijn bij *F. rubra* over de beide experimenten heen tot 3 keer lager dan bij *L. perenne* en *T. officinale*.

In experiment 1a worden bij *L. perenne* intraspecifieke verschillen in ED₉₀-waarden vastgesteld. De ED₉₀ bij *L. perenne* 'Meloni' is 1.8 keer groter dan bij *L. perenne* 'Plenty'. Op ED₅₀-niveau worden zowel bij *L. perenne* en *T. officinale* intraspecifieke verschillen in heetwatergevoeligheid aangetroffen. De ED₅₀ bij *L. perenne* 'Meloni' is in dit geval 2 keer lager dan bij *L. perenne* 'Plenty'. De ED₅₀ bij *T. officinale* 'kloon 1' is 9 keer lager dan deze bij *T. officinale* 'kloon 2'. In experiment 1b zijn de ED₉₀ waarden bij *L. perenne* en *T. officinale* niet significant verschillend. De ED₅₀ bij *L. perenne* 'Meloni' is 3 keer hoger dan bij *L. perenne* 'Plenty'. De ED₅₀ bij *T. officinale* 'kloon 1' is 2 keer lager dan deze bij *T. officinale* 'kloon 2'.



Figuur 23: Dosis – responscurves voor de verschillende testpopulaties behandeld met heet water zonder toevoeging van een hulpstof (Respons: bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling).

Tabel 24: De ED₅₀- en ED₉₀- waarden (kJ m⁻²) met SE op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling voor de verschillende populaties behandeld met heet water zonder toevoeging van een hulpstof (Exp. 1a en 1b)

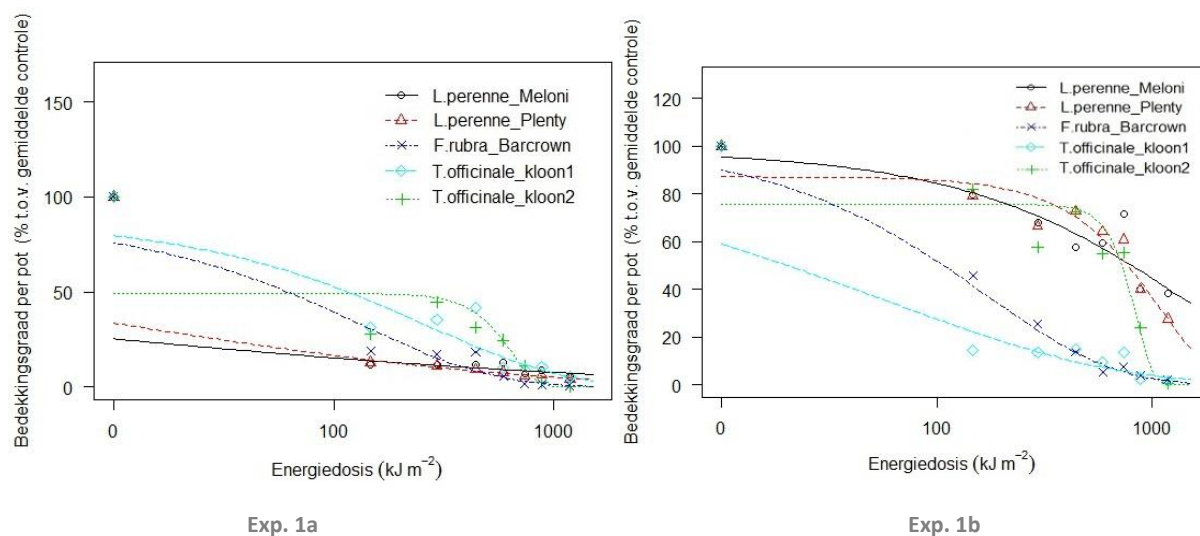
Populatie	Experiment 1a		Experiment 1b	
	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	205.6 ± 40.50 a	3158.5 ± 880.70 a	623.9 ± 136.44 ac	2717.0 ± 823.54 a
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	398.9 ± 44.00 b	1778.2 ± 261.11 b	187.2 ± 70.91 ab	3119.1 ± 1098.08 a
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	120.3 ± 36.87 bc	559.8 ± 130.62 c	189.4 ± 51.05 c	684.5 ± 85.88 b
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	45.2 ± 28.85 a	737.7 ± 198.35 c	306.8 ± 77.89 b	1001.1 ± 117.09 c
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	406.3 ± 61.27 c	878.8 ± 99.70 c	643.6 ± 48.88 ab	954.1 ± 46.31 cb

Niet significante verschillen (gebaseerd op de selectiviteitsindices en bijbehorende *P*-waarden) hebben dezelfde letter. Enkel vergelijking binnen eenzelfde experiment.

Bedekking

De dosis-responscurves van de verschillende populaties op basis van de bedekkingsgraad 7 dagen na de heetwaterbehandeling en de bijbehorende ED-waarden met significante verschillen, staan weergegeven in Fig. 24 en Tabel 25. De bedekking is te zien op de figuren 25 en 26.

De ED₉₀ bij *F. rubra* is opnieuw lager, respectievelijk tot 2 en 8 keer dan bij *T. officinale* en *L. perenne*. Bij *T. officinale* zijn de ED₅₀-waarden bij 'kloon 1' 3 keer lager in experiment 1a en 34 keer lager in experiment 1b dan bij 'kloon 2'. Bij *L. perenne* zijn er ook verschillen waar te nemen; de ED₉₀-waarden van populatie 'Meloni' zijn vergeleken met die van populatie 'Plenty' 1.5 keer lager in experiment 1a en 2.5 keer hoger in experiment 1b.



Figuur 24: Dosis – responscurves voor de verschillende testpopulaties behandeld met heet water zonder toevoeging van een hulpstof (Respons: bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling) (Exp. 1a en 1b).

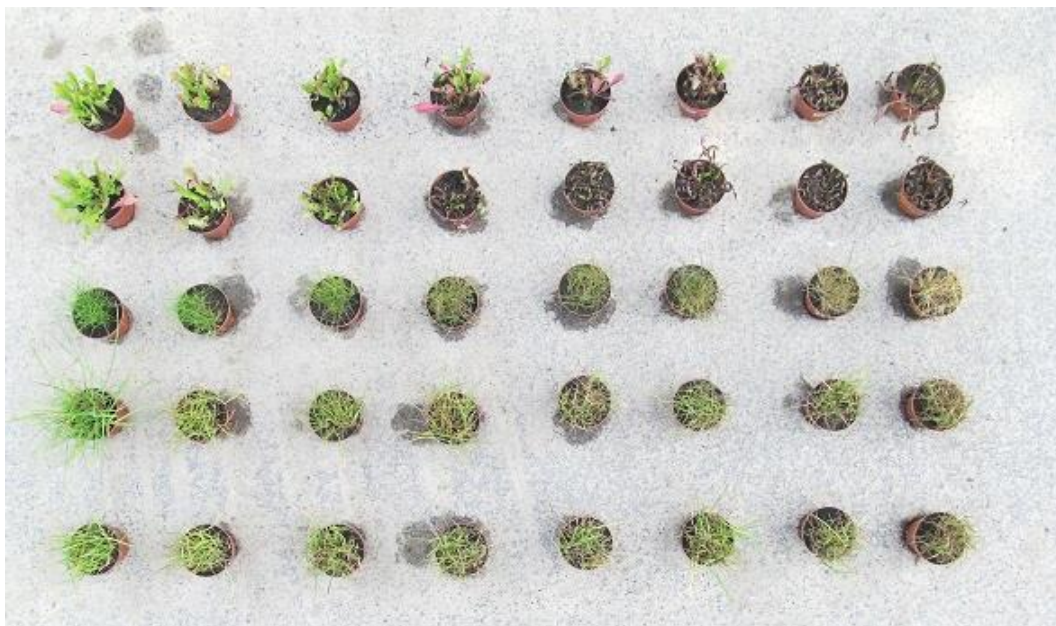
Tabel 25: De ED₅₀- en ED₉₀- waarden (kJ m⁻²) met SE op basis van de bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling voor de verschillende plantenpopulaties behandeld met heet water zonder toevoeging van een hulpstof (Exp. 1a en 1b)

Populatie	Experiment 1a		Experiment 1b	
	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	0.1 ± 0.35 a	460.0 ± 267.95 ab	832.4 ± 286.23 a	4441.8 ± 3136.87 a
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	1.3 ± 2.56 b	315.4 ± 126.01 a	875.5 ± 137.41 a	1770.6 ± 394.70 b
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	81.5 ± 28.84 c	426.2 ± 57.40 b	102.8 ± 29.52 ab	529.7 ± 57.99 c
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	153.0 ± 62.14 d	886.5 ± 117.27 a	23.6 ± 16.76 c	448.2 ± 90.55 d
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	507.8 ± 49.14 d	751.8 ± 31.62 b	794.2 ± 31.37 b	982.8 ± 20.20 d

Niet significante verschillen (gebaseerd op de selectiviteitsindices en bijbehorende *P*-waarden) hebben dezelfde letter. Enkel vergelijking binnen eenzelfde experiment.



Figuur 25: De bedekking van de verschillende testsoorten (van onder naar boven: *L. perenne* 'Meloni', *L. perenne* 'Plenty', *F. rubra*, *T. officinale* 'kloon 1' en *T. officinale* 'kloon 2') 7 dagen na eenmalige behandeling met heet water bij verschillende energiedosissen (van links naar rechts: 0, 147, 294, 441, 589, 736, 883 en 1180 kJ m⁻²) (Exp. 1a).



Figuur 26: De bedekking van de verschillende testsoorten (van onder naar boven: *L. perenne* 'Meloni', *L. perenne* 'Plenty', *F. rubra*, *T. officinale* 'kloon 1' en *T. officinale* 'kloon 2') 7 dagen na eenmalige behandeling met heet water bij verschillende energiedosissen (van links naar rechts: 0, 147, 294, 441, 589, 736, 883 en 1180 kJ m⁻²) (Exp. 1b).

4.1.2. Discussie

De toevoeging van een hulpstof aan heet water heeft doorgaans geen invloed op de heetwatergevoeligheid van planten. Dat de toevoeging van een hulpstof geen invloed heeft op de ED-waarden op basis van de bovengrondse droge biomassa komt waarschijnlijk doordat bij een behandeling met heet water grote hoeveelheden water (ongeveer 55 keer meer in vergelijking met

een standaard spuitvolume bij toepassing van gewasbeschermingsmiddelen met een veldspuit)¹⁴ verbruikt worden. Het bevorderend effect van hulpstoffen op het contactoppervlak tussen vloeistofdruppel en plantoppervlak is waarschijnlijk groter naarmate minder water ingezet wordt (Hansson & Mattsson, 2002). De resultaten uit experiment 1 zijn niet in lijn met de resultaten uit de studie van Hansson & Mattsson (2002). Zij vonden dat de toevoeging van een hulpstof een hogere reductie in verse biomassa gaf. Het dient evenwel benadrukt te worden dat de bekomen reductie het gevolg was van de fytoxische werking van de toegepaste hulpstof op zich en bv. niet door een verhoogd contactoppervlak. De hulpstoffen die gebruikt werden in dit onderzoek toonden toegepast bij kamertemperatuur (21.5°C bij Exp. 1a en 25.5 °C bij Exp. 1b) evenwel geen fytoxische werking.

Bij sommige plantensoort x hulpstof combinaties zijn er positieve (d.w.z. ED₉₀-verlagend) effecten van hulpstof toevoeging. Enkel bij *F. rubra* 'Barcrown' in Exp. 1a en 1b en bij *T. officinale* 'kloon 2' in Exp. 1b gaf de toevoeging van een hulpstof (Fieldor Max bij *F. rubra* in Exp. 1a, Mousse de Lin in Exp. 1b en Vegetop bij *T. officinale* 'kloon 2') reducties in ED₉₀ op basis van de bovengrondse droge biomassa (reducties met 23, 45 en 34% respectievelijk). Het effect van de toevoeging van een hulpstof is dus hulpstof- en plantensoortspecifiek. Bovendien is het effect meestal niet herhaalbaar (zie verschillen tussen Exp. 1a en 1b). Het effect is bijgevolg sterk afhankelijk van heersende omgevingsomstandigheden rond het tijdstip van heetwatertoepassing. Tijdens de experimenten was er verschil in temperatuur (de temperatuur op het moment van de behandeling was in Exp. 1b 5°C hoger dan in Exp. 1a) en instraling (de instraling op de dag van de behandeling was in Exp. 1b 12 J m⁻² hoger dan in Exp. 1a).

In sommige gevallen resulteerde de toevoeging van een hulpstof, en dit bij alle geteste hulpstoffen, in een verhogingen van de ED₅₀-waarden op basis van de bovengrondse droge biomassa. De toevoeging van een olie-gebaseerde hulpstof verhoogde de ED₅₀ in Exp. 1a bij *T. officinale* 'kloon 1' en 'kloon 2' met respectievelijk 126% en 360%. De warmte- en geleidingseigenschappen van olie kunnen mogelijk verklaren waarom een hogere energiedosis nodig is wanneer een olie-gebaseerde hulpstof werd toegevoegd aan water. De soortelijke warmtecapaciteit van olie is nl. 2 keer zo laag¹⁵ als deze van zuiver water, wat betekent dat water met een olie-gebaseerde hulpstof bij eenzelfde temperatuur minder energie bevat (zie 2.2.4.2). Ook de warmtegeleidingscoëfficiënt van olie is lager (3.4 keer¹⁶) dan deze van water wat zorgt voor een kleinere warmteoverdracht (zie 2.2.1) (Pieters, 2010). Aangezien de hulpstoffen sterk verdund zijn in het water (concentraties van 0.150 tot 0.662 vol.-%) zullen bovenvermelde effecten op warmtegeleiding en -overdracht eerder minimaal zijn.

Er zijn duidelijk verschillen in heetwatergevoeligheid tussen de geteste plantensoorten. *Lolium perenne* is in beide experimenten minder gevoelig (op basis van ED₉₀-waarden voor bovengrondse biomassa) ten aanzien van heet water dan *T. officinale*. De Cauwer *et al.* (2014) vonden dat grassen met erectofiel-georiënteerde bladeren in het algemeen minder gevoelig zijn dan planten met grote, dunne planofiel-georiënteerde bladeren (zoals *T. officinale*) omwille van de lagere retentie en kleinere SLA¹⁷ (in deze studie was de SLA van de geteste grassen 2 tot 5.7 keer lager in vergelijking met de SLA van *T. officinale*, zie Tabel 10 sectie 3.3.1.3). Voor *F. rubra*, de meest gevoelige soort (laagste ED₉₀-waarden voor zowel bedekking als bovengrondse biomassa) gaat bovenstaande verklaring niet op. Ondanks de kleinere SLA bij *F. rubra* (2 lager keer bij Exp. 1a en 2 tot 3 keer lager bij Exp. 1b) in vergelijking met *T. officinale* is *F. rubra* veel gevoeliger. Wellicht is de grote heetwatergevoeligheid van *F. rubra* te wijten aan het hoog drogestofgehalte van het blad (LDMC¹⁸). Al Haj Khaled *et al.* (2005)

¹⁴ Gebaseerd op een heetwaterverbruik van 1.7 L m⁻² (gemiddelde toegepaste waterlaagdikte, zie 3.3.1.2) en een waterverbruik van 300 L ha⁻¹ bij toepassing van pesticiden met een veldspuit.

¹⁵ Soortelijke warmtecapaciteit van olijfolie = 1.97 J g⁻¹ K⁻¹ (Pergoot *et al.*, 2004).

¹⁶ Warmtegeleidingscoëfficiënt van olijfolie bij 25°C = 0.17 W m⁻¹ K⁻¹ Warmtegeleidingscoëfficiënt van water bij 25°C = 0.58 W m⁻¹ K⁻¹ (The Engineering ToolBox).

¹⁷ SLA: specific leaf area; dit is de verhouding van de bladoppervlakte op de droge stof.

¹⁸ LDMC: leaf dry matter content; de ratio van de droge stof van een blad op het vers gewicht in verzadigde toestand.

vonden een LDMC (in mg g^{-1}) voor *F. rubra* die 1.9 keer hoger is dan bij *T. officinale* en 1.3 keer hoger is dan bij *L. perenne*. Een hoge LDMC wijst op een lagere hoeveelheid water in bladweefsel waardoor minder energie vereist is om plantenweefsel op te warmen tot boven de letale temperatuur (Hansson & Mattsson, 2003).

Binnen eenzelfde plantensoort zijn er ook verschillen in gevoeligheid tussen de geteste populaties. Bij *T. officinale* is 'kloon 1' gevoeliger voor een eenmalige heetwaterbehandeling dan 'kloon 2'. De ED_{50} -waarden zijn voor een reductie in biomassa tot 9 keer lager en voor een reductie in bedekkingsgraad tot 34 keer lager bij 'kloon 1' ten opzichte van 'kloon 2'. De verschillen in ED-waarden kunnen niet verklaard worden door verschillen in bladoppervlakte. In Exp. 1a is de bladoppervlakte van 'kloon 2' immers 1.3 keer groter dan bij 'kloon 1'. En ook verschillen in bladstand bieden geen verklaring. Zo bezit 'kloon 1' in vergelijking met 'kloon 2' meer erecte bladeren hetgeen waterretentie in principe bemoeilijkt. Wellicht zijn verschillen in SLA bepalender voor de heetwatergevoeligheid dan bladstand of oppervlakte op zich. Immers, 'kloon 1' heeft naast meer erectofiel-georiënteerde bladeren echter ook een grotere SLA. Bladeren met een grote specifieke bladoppervlakte zijn gevoeliger voor een heetwaterbehandeling aangezien de warmteoverdracht bevordert wordt. Een grote SLA duidt op een verhoudingsgewijs groot bladoppervlak t.o.v. op te warmen hoeveelheid plantenweefsel.

Bij *L. perenne* is het ras 'Plenty' gevoeliger voor een reductie in bedekkingsgraad (1.5 tot 2.5 keer lagere ED_{90} -waarden) dan het ras 'Meloni'. Dit is wellicht te verklaren door hun verschil in groeiwijze. Zoals eerder vermeld (zie 3.1) vertoont de populatie 'Plenty', in vergelijking met de populatie 'Meloni' een meer planofiele groeiwijze hetgeen gunstiger is voor de retentie van heet water.

Tenslotte dient nog benadrukt te worden dat het in dit onderzoek gaat over eenmalige behandelingen en dat bovenvermelde verschillen in heetwatergevoeligheid bijgevolg enkel de onderlinge verschillen in gevoeligheid voor weefselschade aangeven en niet de verschillen in snelheid van uitputting.

4.2. Experiment 2

4.2.1. Resultaten

4.2.1.1. De biomassa-accumulatie van *P. major*, *L. perenne* en *T. officinale* over een periode van 12 weken

In Tabel 26 wordt de biomassa-accumulatie van onbehandelde testsoorten over een periode van 12 weken weergegeven. Deze biomassa-accumulatie wordt uitgedrukt in drooggewicht van de bovengrondse-, ondergrondse- en totale levende biomassa per pot. Enkel bij *T. officinale* is er een significant verschil in totale droge biomassa tussen de aanvang en het einde van het experiment. Bij *L. perenne* zijn er zowel voor de bovengrondse-, ondergrondse- als de totale droge biomassa geen significante verschillen waar te nemen tussen het begin en het einde van het experiment. Bij *P. major* is de bovengrondse droge biomassa op het einde van het experiment 2 keer lager dan in het begin van het experiment maar voor de totale droge biomassa is er geen significant verschil waar te nemen tussen het begin en het einde van het experiment. Bij *T. officinale* is de totale droge biomassa aan het einde van het experiment 2 keer zo hoog als in het begin van het experiment. Deze aanwas in biomassa is vooral het resultaat van de groei van de ondergrondse biomassa aangezien de ondergrondse droge biomassa op het einde van het experiment ook 2 keer zo hoog is als in het begin van het experiment.

Tabel 26: Verloop van het drooggewicht (g pot⁻¹) met SE van de bovengrondse, ondergrondse en totale levende biomassa in de tijd, voor onbehandelde planten van drie plantensoorten (Exp. 2)

Tijdstip	Drooggewicht van de levende biomassa (g pot ⁻¹)		
	Bovengronds	Ondergronds	Totaal
<i>L. perenne</i>			
1 (8 juli)	2.6 ± 0.11 a	10.3 ± 1.76 ab	12.9 ± 1.76 ab
2 (21 augustus)	2.5 ± 0.24 a	7.3 ± 1.28 a	9.9 ± 1.30 a
3 (4 oktober)	2.8 ± 0.55 a	10.2 ± 1.47 b	13.0 ± 1.78 b
<i>P. major</i>			
1 (8 juli)	2.1 ± 0.15 a	1.6 ± 0.11 a	3.7 ± 0.19 a
2 (21 augustus)	1.7 ± 0.11 b	1.7 ± 0.09 a	3.4 ± 0.14 a
3 (4 oktober)	0.8 ± 0.06 c	1.7 ± 0.10 a	2.5 ± 1.22 a
<i>T. officinale</i>			
1 (8 juli)	0.9 ± 0.08 a	3.5 ± 0.22 a	4.4 ± 0.23 a
2 (21 augustus)	1.1 ± 0.10 b	5.1 ± 0.38 b	6.2 ± 0.40 b
3 (4 oktober)	1.1 ± 0.19 ab	7.4 ± 0.33 c	8.5 ± 0.47 c

Niet significante verschillen hebben dezelfde letter. Enkel vergelijking binnen eenzelfde plantenpopulatie en experiment.

4.2.1.2. Invloed van het bestrijdingsinterval en de cumulatieve energiedosis op de totale droge biomassa na een periode van 12 weken

Totale droge biomassa

Tabel 27 toont de totale droge biomassa na een behandelingsperiode van 12 weken waarbij verschillende behandelingsfrequenties met verschillende energiedosissen aangehouden werden. Deze resultaten staan geïllustreerd in de figuren 27 t.e.m. 29.

Bij *L. perenne* resulteren 3 tot 4 behandelingen over 12 weken aan respectievelijk 736 en 589 kJ m⁻² in de hoogste reducties in totale droge biomassa (respectievelijk 52 en 55% t.o.v. de onbehandelde controle). Binnen deze energiedosissen is er geen significant verschil in reductie tussen beide bestrijdingsfrequenties. Bij toepassing van 736 kJ m⁻² per behandelingsbeurt is de reductie bekomen met 2 beurten over 12 weken niet significant verschillend van de reducties bekomen bij 3 of 4 beurten over 12 weken. Hogere behandelingsfrequenties dan 4 beurten over 12 weken zijn duidelijk supra-optimaal, zie ook Fig. 30. Bij een energiedosis van 736 kJ m⁻² per behandelingsbeurt worden bij 5 of 6 beurten over 12 weken significant lagere reducties (respectievelijk 21 tot 22% t.o.v. onbehandeld) bekomen dan bij 3 of 4 beurten over 12 weken.

Bij *P. major* resulteert de hoogste behandelingsfrequentie bij alle energiedosissen, uitgezonderd 295 kJ m⁻² per behandeling, in de grootste reductie in totale droge biomassa. Zes behandelingen binnen 12 weken gaven, vergeleken met een eenmalige behandeling, een totale droge biomassa die 2 tot 5 keer lager is. Met uitzondering van de eenmalige behandeling is er een duidelijke afname in totale droge biomassa met toenemende energiedosis per behandeling. Zes behandelingen binnen 12 weken aan 736 kJ m⁻² toont de hoogste reductie (76% t.o.v. onbehandelde controle). Deze reductie is evenwel niet significant verschillend van de reducties bij toepassing van 4 en 5 behandelingsbeurten aan diezelfde dosering. De totale droge biomassa na een behandelingsperiode wordt weergegeven in Fig. 31.

Bij *T. officinale* is de energiedosis die de hoogste reductie in totale droge biomassa oplevert eveneens afhankelijk van de bestrijdingsfrequentie, zie ook Fig. 32. Over alle frequenties heen worden de hoogste reducties (33 tot 74%) bekomen bij energiedosissen per behandeling van 589 en 736 kJ m⁻². Bij *T. officinale* resulteren 5 tot 6 behandelingen over 12 weken aan 736 kJ m⁻² in de hoogste reducties

(respectievelijk 74 en 73% t.o.v. onbehandeld) in totale droge biomassa. Er is binnen deze bestrijdingsfrequenties evenwel geen significant verschil in reductie binnen het doseringstraject van 441 t.e.m. 883 kJ m⁻².

Een reductie in totale droge biomassa tot op het niveau van de uitgangssituatie (de totale droge biomassa bij aanvang van de proef¹⁹ bedroeg 3.7, 12.9 en 4.4 g pot⁻¹ bij respectievelijk *P. major*, *L. perenne* en *T. officinale*) wordt het moeilijkst bekomen bij *T. officinale*. Hiervoor zouden 4 tot 6 behandelingen over een periode van 12 weken nodig zijn, waarbij een energiedosis per behandeling van minstens 441 kJ m⁻² nodig is. Vier behandelingen over een periode van 12 weken met een dosis van 589 kJ m⁻² per beurt (dit geeft een cumulatief energieverbruik van 2356 kJ m⁻²) geven reducties van 54, 62 en 16% bij respectievelijk *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale*. Vijf behandelingen over 12 weken met een dosis van 441 kJ m⁻² per beurt geven reducties van 22, 60 en 27% bij respectievelijk *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale* met een lager cumulatief energieverbruik (2205 kJ m⁻²).

Eenmalige behandeling van onkruiden resulteert in enkele gevallen in een stijging van de totale droge biomassa t.o.v. de onbehandelde controle. Bij *L. perenne* resulteert eenmalige behandeling met een lage energiedosis (295 en 441 kJ m⁻²) in een stijging van de totale droge biomassa van respectievelijk 6 en 38% t.o.v. de onbehandelde controle. Bij *P. major* en *T. officinale* resulteren eenmalige behandelingen (met respectievelijke energiedosissen van 736 kJ m⁻² en 295 kJ m⁻²) in een stijging van de totale droge biomassa van respectievelijk 20 en 19% t.o.v. de onbehandelde controle.

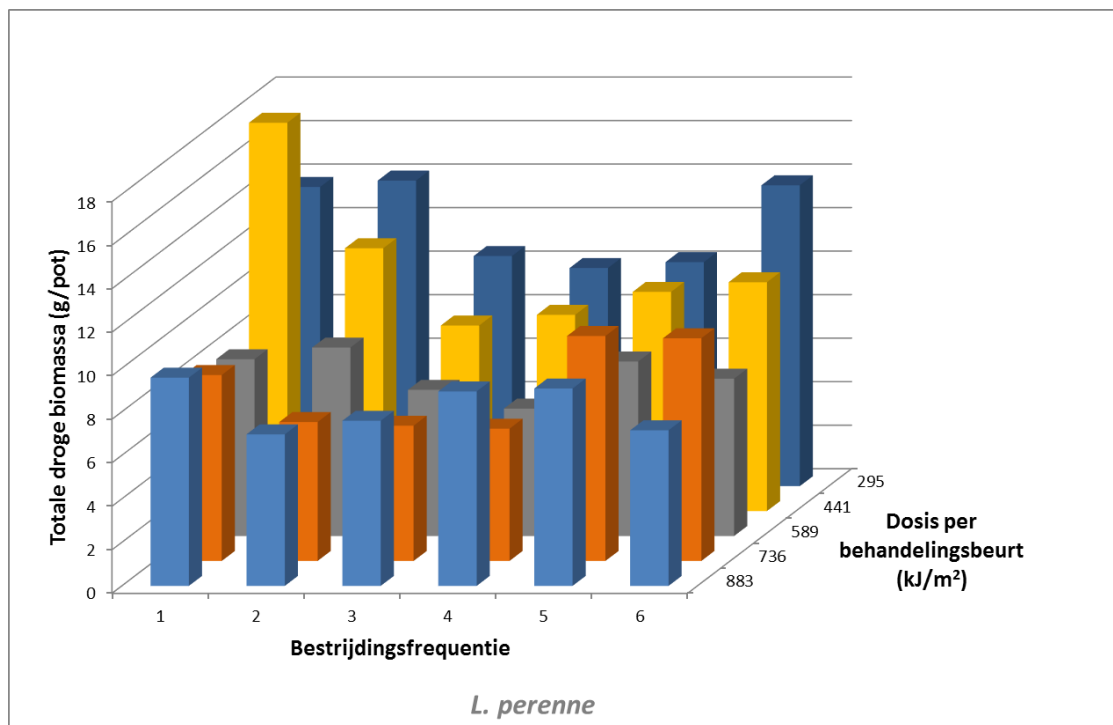
¹⁹ Gemeten bij de eerste spoelbeurt, 3 dagen voor de eerste behandeling (zie Tabel 16 sectie 3.3.2.3).

Tabel 27: Gemiddelde totale droge biomassa (in g pot⁻¹) ± SE, 14 dagen na de laatste behandeling op 19 september, voor drie plantensoorten in functie van toegepaste dosis en behandelingsfrequentie (Exp.2)

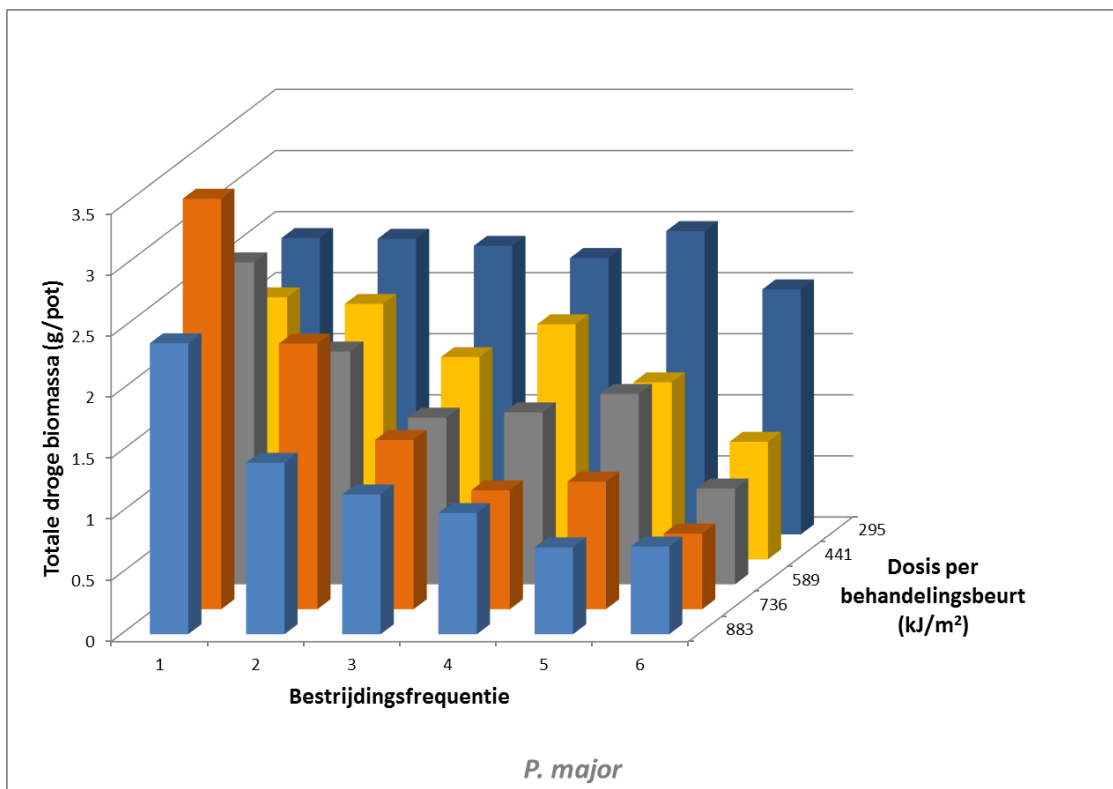
Dosis (kJ m ⁻²)	Behandelingsfrequentie [†]					
	1 (-)	2 (42)	3 (28)	4 (21)	5 (17)	6 (14)
<i>L. perenne</i>						
0	13.0 ± 1.78 * ab	13.0 ± 1.78 * ab	13.0 ± 1.78 * a	13.0 ± 1.78 * a	13.0 ± 1.78 * a	13.0 ± 1.78 * a
295	13.8 ± 0.91 * b	14.0 ± 2.51 * b	10.6 ± 0.91 * ab	10.0 ± 0.81 * ab	10.3 ± 1.05 * a	13.8 ± 2.26 * a
441	17.9 ± 2.08 * a	12.1 ± 1.14 */** ab	8.5 ± 0.80 ** ab	9.0 ± 1.02 ** ab	10.1 ± 1.32 ** a	10.5 ± 2.77 */** a
589	8.1 ± 0.60 ** b	8.7 ± 1.013** abc	6.7 ± 0.82 * b	5.9 ± 0.35 * b	8.0 ± 2.05 * a	7.2 ± 0.60 * a
736	8.5 ± 0.68 ** b	6.4 ± 0.56 * c	6.2 ± 0.86 * b	6.08 ± 0.50 * b	10.3 ± 2.07 ** a	10.2 ± 1.21 ** a
883	9.6 ± 1.50 * b	7.0 ± 0.63 * bc	7.6 ± 0.76 * b	8.9 ± 1.82 * ab	9.1 ± 0.97 * a	7.2 ± 0.65 * a
<i>P. major</i>						
0	2.5 ± 1.22 * ab	2.5 ± 1.22 * a	2.5 ± 1.22 * a	2.5 ± 1.22 * a	2.5 ± 1.22 * a	2.5 ± 1.22 * a
295	2.4 ± 0.15 * a	2.4 ± 0.22 * a	2.4 ± 0.28 * ab	2.3 ± 0.49 * ab	2.5 ± 0.35 * a	2.0 ± 0.18 * b
441	2.1 ± 0.14 * a	2.1 ± 0.241 * ab	1.7 ± 0.11 */** bc	1.9 ± 0.24 * abc	1.5 ± 0.24 */** b	1.0 ± 0.06 ** c
589	2.6 ± 0.13 * ab	1.9 ± 0.12 ** ab	1.4 ± 0.11 ** c	1.4 ± 0.13 ** bc	1.56 ± 0.20 ** bc	0.8 ± 0.07 *** c
736	3.0 ± 0.07 * b	2.2 ± 0.30 ** ab	1.4 ± 0.18 *** c	1.0 ± 0.08 ***/**** c	1.1 ± 0.11 ***/**** bc	0.6 ± 0.05 *** c
883	2.4 ± 0.17 * a	1.4 ± 0.21 ** b	1.1 ± 0.16 ***/*** c	1.0 ± 0.09 ***/*** c	0.7 ± 0.06 *** c	0.7 ± 0.06 *** c
<i>T. officinale</i>						
0	8.5 ± 0.47 * ab	8.5 ± 0.47 * a	8.5 ± 0.47 * a	8.5 ± 0.47 * a	8.5 ± 0.47 * a	8.5 ± 0.47 * a
295	10.1 ± 0.61 * a	7.1 ± 0.65 ** ab	6.9 ± 0.52 ** ab	6.0 ± 0.32 **/*** b	5.5 ± 0.40 **/*** b	4.3 ± 0.66 *** b
441	7.5 ± 0.63 * bc	6.0 ± 0.38 */** bc	6.0 ± 0.23 */** bc	4.5 ± 0.22 **/*** bc	3.2 ± 0.43 ***/**** c	3.3 ± 0.23 **** bc
589	5.7 ± 0.38 * c	4.4 ± 0.29 */** c	3.2 ± 0.50 **/*** d	3.7 ± 0.19 **/*** c	2.9 ± 0.29 *** c	3.3 ± 0.32 **/*** bc
736	5.6 ± 0.50 * c	5.4 ± 0.45 * bc	4.7 ± 0.41 * cd	4.3 ± 0.40 * bc	2.2 ± 0.16 ** c	2.3 ± 0.22 ** c
883	8.7 ± 0.29 * ab	5.2 ± 0.31 ** c	4.7 ± 0.27 **/*** cd	3.7 ± 0.42 *** c	3.6 ± 0.19 *** c	3.4 ± 0.18 *** bc

Waarden gevolgd door een verschillende letter of een verschillend aantal asterixen zijn significant verschillend volgens Tukey HSD test (in geval van homoscedasticiteit) of de Bonferroni test (in geval van geen homoscedasticiteit) op het 5% significantieniveau. Bij de letters enkel vergelijking binnen eenzelfde behandelingsfrequentie en plantensoort en bij de asterixen enkel vergelijking binnen eenzelfde dosis en plantensoort.

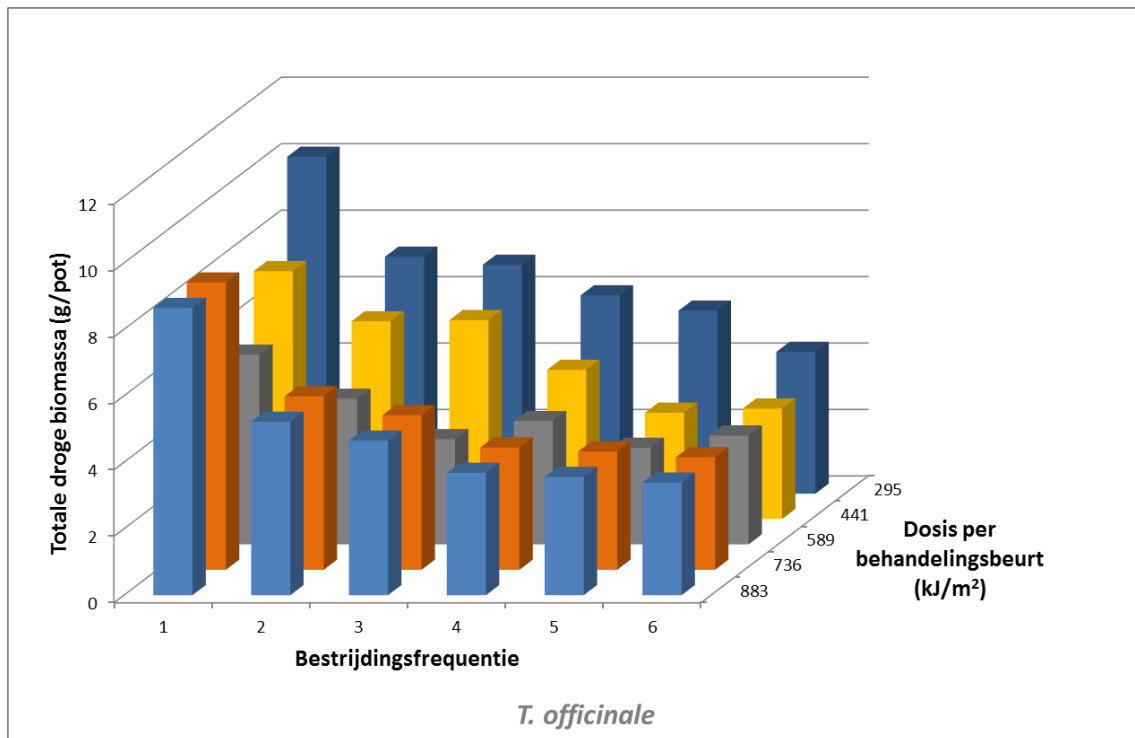
[†] Het bestrijdingsinterval staat tussen haken vermeld.



Figuur 27: Totale droge biomassa van *L. perenne*, 14 dagen na de laatste behandeling op 19 september, voor de verschillende bestrijdingsfrequenties en dosissen per behandelingsbeurt (Exp.2).



Figuur 28: Totale droge biomassa van *P. major*, 14 dagen na de laatste behandeling op 19 september, voor de verschillende bestrijdingsfrequenties en dosissen per behandelingsbeurt (Exp.2).



Figuur 29: Totale droge biomassa van *T. officinale*, 14 dagen na de laatste behandeling op 19 september, voor de verschillende bestrijdingsfrequenties en dosissen per behandelingsbeurt (Exp.2).



Figuur 30: Het effect op *L. perenne* na een behandelingsperiode van 12 weken met energiedosissen per behandeling (van boven naar onder) 589, 736 en 883 kJ m⁻² bij verschillende behandelingsfrequenties (van links naar rechts: 0, 1, 2, 3, 4, 5 en 6 beurten) (14 dagen na de laatste behandeling op 19 september).



Figuur 31: Het effect op *P. major* na een behandelingsperiode van 12 weken met energiedosissen per behandeling (van boven naar onder) 589, 736 en 883 kJ m⁻² bij verschillende behandelingsfrequenties (van links naar rechts: 0, 1, 2, 3, 4, 5 en 6) (14 dagen na de laatste behandeling op 19 september).



Figuur 32: Het effect op *T. officinale* na een behandelingsperiode van 12 weken met energiedosissen per behandeling (van boven naar onder) 589, 736 en 883 kJ m⁻² bij verschillende behandelingsfrequenties (van links naar rechts: 0, 1, 2, 3, 4, 5 en 6) (14 dagen na de laatste behandeling op 19 september).

Aandeel ondergrondse droge biomassa in de totale droge biomassa

Tabel 28 toont het procentueel aandeel van de ondergrondse droge biomassa t.o.v. de totale droge biomassa. Binnen de behandelingsfrequenties is voor alle soorten (met uitzondering van *P. major* met behandelingsfrequentie 2) het procentueel aandeel van de ondergrondse biomassa groter t.o.v. de onbehandelde controle indien meer dan één behandeling toegepast werd gedurende 12 weken. Het procentueel aandeel van de ondergrondse biomassa steeg hierbij met 3 tot 21%, 26 tot 43% en 5 tot 10% voor respectievelijk *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale* t.o.v. de onbehandelde controle waarbij de stijging onafhankelijk was van de energiedosis per behandeling.

Bij *L. perenne* had een groter aantal behandelingsbeurten in een periode van 12 weken geen invloed op het procentueel aandeel van de ondergrondse droge biomassa indien lage energiedosissen per beurt (295 tot 589 kJ m⁻²) toegepast werden. Hogere energiedosissen per behandeling resulteerden bij 6 behandelingen over 12 weken in een stijging van het procentueel aandeel van de ondergrondse biomassa met 16% (bij 736 kJ m⁻²) en 9% (bij 883 kJ m⁻²) t.o.v. een eenmalige behandeling. Bij *P. major* is het procentueel aandeel van de ondergrondse biomassa afhankelijk van de behandelingsfrequentie. Twee en zes behandelingen over 12 weken met een energiedosis per beurt van 736 kJ m⁻² resulteerden in een stijging van het procentueel aandeel van de ondergrondse biomassa t.o.v. een eenmalige behandeling met respectievelijk 25% en 64%. Eenmalige behandeling resulteerde in een reductie van het procentueel aandeel van de ondergrondse biomassa t.o.v. de controle tot 18% (bij een dosis van 736 kJ m⁻²). Bij *T. officinale* verhoogde het procentueel aandeel van de ondergrondse biomassa met 6 tot 8% t.o.v. een eenmalige behandeling vanaf er meer dan één behandeling toegepast werd, onafhankelijk van de behandelingsfrequentie.

Tabel 28: Gemiddeld procentueel aandeel van de ondergrondse droge biomassa in de totale droge biomassa \pm SE, 14 dagen na de laatste behandeling op 19 september, per plantensoort in functie van toegepaste dosis per behandelingsbeurt en behandelingsfrequentie (Exp.2)

Dosis (kJ m ⁻²)	Behandelingsfrequentie ^o					
	1 (-)	2 (42)	3 (28)	4 (21)	5 (17)	6 (14)
<i>L. perenne</i>						
0	78.4 \pm 2.57 * a	78.4 \pm 2.57 * a	78.4 \pm 2.57 * a	78.4 \pm 2.57 * a	78.4 \pm 2.57 * a	78.4 \pm 2.57 * a
295	83.6 \pm 0.81 * a	84.9 \pm 1.40 * ab	82.7 \pm 1.50 * ab	83.1 \pm 1.51 * ab	83.8 \pm 2.88 * ab	88.2 \pm 1.49 * b
441	83.0 \pm 1.07 * a	85.2 \pm 1.74 */** ab	83.1 \pm 0.64 * ab	84.6 \pm 1.37 */** ab	89.7 \pm 1.27 ** b	89.8 \pm 1.75 ** b
589	82.2 \pm 2.21 * a	80.9 \pm 2.31 * ab	85.8 \pm 1.40 * bc	83.2 \pm 0.35 * ab	85.9 \pm 3.44 * ab	88.2 \pm 1.86 * b
736	81.2 \pm 0.92 * a	84.0 \pm 0.97 */** ab	88.3 \pm 2.20 **/**/*/*/*/* bc	84.8 \pm 1.77 */**/*/*/* ab	90.8 \pm 1.65 **/*/*/*/* b	94.5 \pm 0.96 **/*/*/* b
883	83.5 \pm 1.14 * a	86.9 \pm 1.93 */** b	90.9 \pm 1.06 ** c	87.3 \pm 1.84 */** b	90.3 \pm 1.77 ** b	91.0 \pm 0.74 ** b
<i>P. major</i>						
0	66.8 \pm 1.80 * a	66.8 \pm 1.80 * a	66.8 \pm 1.80 * a	66.8 \pm 1.80 * a	66.8 \pm 1.80 * a	66.8 \pm 1.80 * a
295	65.4 \pm 1.73 * a	67.6 \pm 2.70 * a	72.7 \pm 3.09 */** ab	75.9 \pm 3.72 */** ab	76.6 \pm 2.49 */** ab	82.1 \pm 1.68 ** b
441	59.6 \pm 2.05 * ab	73.7 \pm 3.66 */** a	79.0 \pm 2.54 **/**/* ab	76.3 \pm 2.96 ** ab	83.3 \pm 5.44 **/**/* b	92.4 \pm 1.61 **/* b
589	63.7 \pm 1.05 * a	75.9 \pm 0.84 ** a	80.7 \pm 2.46 ** b	78.9 \pm 3.05 ** ab	83.4 \pm 4.34 ** b	95.4 \pm 1.23 **/* c
736	54.5 \pm 2.16 * b	68.1 \pm 1.97 ** a	83.0 \pm 3.50 **/* b	84.7 \pm 2.12 **/* b	90.1 \pm 1.59 **/* b	89.4 \pm 3.41 **/* bc
883	63.4 \pm 1.22 * a	76.7 \pm 2.90 ** a	84.6 \pm 3.83 **/**/* b	83.7 \pm 3.81 **/**/* b	84.2 \pm 2.97 **/**/* b	90.5 \pm 1.82 **/* bc
<i>T. officinale</i>						
0	87.8 \pm 1.65 * a	87.8 \pm 1.65 * a	87.8 \pm 1.65 * a	87.8 \pm 1.65 * a	87.8 \pm 1.65 * a	87.8 \pm 1.65 * a
295	87.9 \pm 0.69 * a	94.3 \pm 0.44 ** b	92.1 \pm 0.79 ** ab	94.1 \pm 0.75 ** b	95.4 \pm 0.53 ** b	94.5 \pm 1.43 ** b
441	91.2 \pm 1.46 * a	95.9 \pm 0.21 ** b	94.6 \pm 0.46 ** b	95.0 \pm 0.30 ** b	96.1 \pm 0.54 ** b	96.9 \pm 0.48 ** b
589	90.3 \pm 0.94 * a	93.2 \pm 0.75 */** b	92.9 \pm 0.97 */** b	94.0 \pm 0.72 **/**/* b	94.36 \pm 0.74 **/**/* b	96.7 \pm 0.56 **/* b
736	89.9 \pm 0.78 * a	92.8 \pm 0.78 ** b	92.7 \pm 0.85 */** b	94.9 \pm 0.33 ** b	93.0 \pm 0.44 ** b	94.4 \pm 0.64 ** b
883	90.4 \pm 0.61 * a	93.5 \pm 0.61 ** b	95.1 \pm 0.94 ** b	95.0 \pm 0.61 ** b	96.0 \pm 0.40 ** b	95.9 \pm 0.60 ** b

Waarden gevolgd door een verschillende letter of een verschillend aantal asterixen zijn significant verschillend volgens Tukey HSD test (in geval van homoscedasticiteit) of de Bonferroni test (in geval van geen homoscedasticiteit) op het 5% significantieniveau. Bij de letters enkel vergelijking binnen eenzelfde behandelingsfrequentie en plantensoort en bij de asterixen enkel vergelijking binnen eenzelfde dosis en plantensoort.

^o Het bestrijdingsinterval staat tussen haken vermeld.

4.2.2. Discussie

Voor een significante uitputting van meerjarige onkruiden zijn meerdere bestrijdingen nodig per groeiseizoen. Eenmalige behandeling van onkruiden resulteert namelijk in enkele gevallen in een stijging van de totale droge biomassa t.o.v. de onbehandelde controle. Zoals ontbladering van planten een respons kan induceren die bij sommige plantensoorten kan leiden tot een compensatie of overcompensatie in fotosynthetische activiteit en/of groei, blijkt dit ook het geval te zijn bij eenmalige heetwaterbehandeling (Briske & Richards, 1995).

De meest effectieve combinatie van bestrijdingsfrequentie en energiedosis is afhankelijk van de plantensoort.

Bij *P. major* is er een duidelijke afname in totale droge biomassa met toenemende energiedosis per behandeling. Zowel bij *L. perenne* als *T. officinale* gaven behandelingen met een energiedosis van 589 of 736 kJ m⁻² per beurt de hoogste reducties in totale droge biomassa. Deze energiedosissen zijn lager dan de aanbevolen energiedosis per beurt (819 kJ m⁻²) bij 4 behandelingen over 12 weken door De Cauwer *et al.* (2014).

De Cauwer *et al.* (2014) vonden dat de grootste reducties in totale droge biomassa bekomen worden met een behandelingsinterval van 2 weken bij *P. major* en 3 weken bij *L. perenne* en *T. officinale* (wat neerkomt op 6 en 4 behandelingen over 12 weken respectievelijk) wat overeenkomt met onze resultaten. Bij *P. major* en *T. officinale* werden de hoogste reducties (tot 76 en 74% respectievelijk) in totale droge biomassa t.o.v. de onbehandelde controle bekomen met 5 tot 6 behandelingen over 12 weken. Een hoge bestrijdingsfrequentie geeft de planten minder tijd voor hergroei en het aanvullen van de ondergrondse koolstofvoorraden, wat resulteert in een maximaal depletie van nutriënten. Bovendien zijn bij een hoge bestrijdingsfrequentie de bovengrondse plantendelen gevoeliger voor hitte omwille van het jonger hergroeiweefsel en de afwezigheid van parapluwerking door het ijler bladerdek op het moment van behandelen (De Cauwer *et al.*, 2014). De meest eco-efficiënte bestrijdingsfrequentie is echter soortafhankelijk. Bij *L. perenne* gaven 3 tot 4 behandelingen over 12 weken de hoogste reducties in totale droge biomassa (tot 55%) t.o.v. de onbehandelde controle en hogere behandelingsfrequenties waren duidelijk supra-optimaal. Bogaert (2013) toonde reeds aan dat *L. perenne*, relatief t.o.v. *P. major* en *T. officinale*, minder gevoelig is voor heetwaterbehandelingen en een beperktere hergroeisnelheid van bovengrondse plantendelen kent. Bij *L. perenne* is op het moment van behandelen vermoedelijk slechts weinig hergroeiweefsel aanwezig wanneer een hoge bestrijdingsfrequentie (of smal bestrijdingsinterval) aangehouden wordt en is er een relatief geringere uitputting te verwachten dan bij een iets lagere bestrijdingsfrequentie (of iets breder bestrijdingsinterval).

Bij de afweging van het bestrijdingsschema moet, naast het brandstofverbruik, ook rekening worden gehouden met de praktische uitvoerbaarheid en andere kosten zoals de arbeidskost en de afschrijving van de machine. Volgens Boonen *et al.* (2013) staat de energiekost, die afhangt van het cumulatieve energieverbruik, in voor ongeveer 37% van de totale kost. De overige kostenposten (arbeid, afschrijving machine en overige kosten) zijn sterk afhankelijk van de bestrijdingsfrequentie. Bijgevolg zal het aantal behandelingsbeurten zwaarder doorwegen dan de cumulatieve energiedosis bij de keuze van het bestrijdingsschema. Omwille van deze redenen zal de keuze bij gelijk bestrijdingsresultaat, eerder uitgaan naar een schema met minder behandelingsbeurten maar met een hoger cumulatief energieverbruik dan een schema met meer beurten maar lager cumulatief verbruik. Doorgaans resulteerden 5 behandelingen over 12 weken met een relatief laag cumulatief energieverbruik van 2205 kJ m⁻² (441 kJ m⁻² per beurt) in een goede bestrijding waarbij reducties van de totale droge biomassa t.o.v. de uitgangssituatie van 22, 60 en 27% bekomen werden bij respectievelijk *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale*. Om gelijkaardige reducties in totale droge biomassa te bekomen kan het schema met 4 behandelingen met elk een dosis van 589 kJ m⁻² over 12 weken toegepast worden. Hierbij werden met een cumulatief energieverbruik van 2356 kJ m⁻² reducties in totale droge biomassa

t.o.v. de uitgangssituatie bekomen van 54, 62 en 16% voor respectievelijk *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale*.

Onkruidbestrijdingsstrategieën in Vlaanderen maken veelal gebruik van onkruidtolerantielimieten (of beeldscores), die plaatsspecifiek ingesteld worden door de groenambtenaar. Dergelijke limieten mogen niet overschreden worden. Een optie die hierbij aansluit is het in evenwicht houden van de totale onkruidbiomassa over de jaren heen. Bij onbehandelde *T. officinale* planten was de totale droge biomassa op het einde van het experiment 2 keer zo groot als bij de aanvang van het experiment tengevolge van aanwas van ondergrondse biomassa. Om de biomassa tegen het einde van het groeiseizoen terug op de initiële uitgangssituatie te brengen (status quo verwezenlijken) waren 2 behandelingen van 589 kJ m⁻² (cumulatief energieverbruik van 1178 kJ m⁻²) over 12 weken nodig. Bij *L. perenne* en *P. major* was er geen significant verschil in de totale droge biomassa tussen de aanvang en het einde van het experiment waardoor aanbevelingen hieromtrent moeilijk te maken zijn.

4.3. Experiment 3

4.3.1. Resultaten

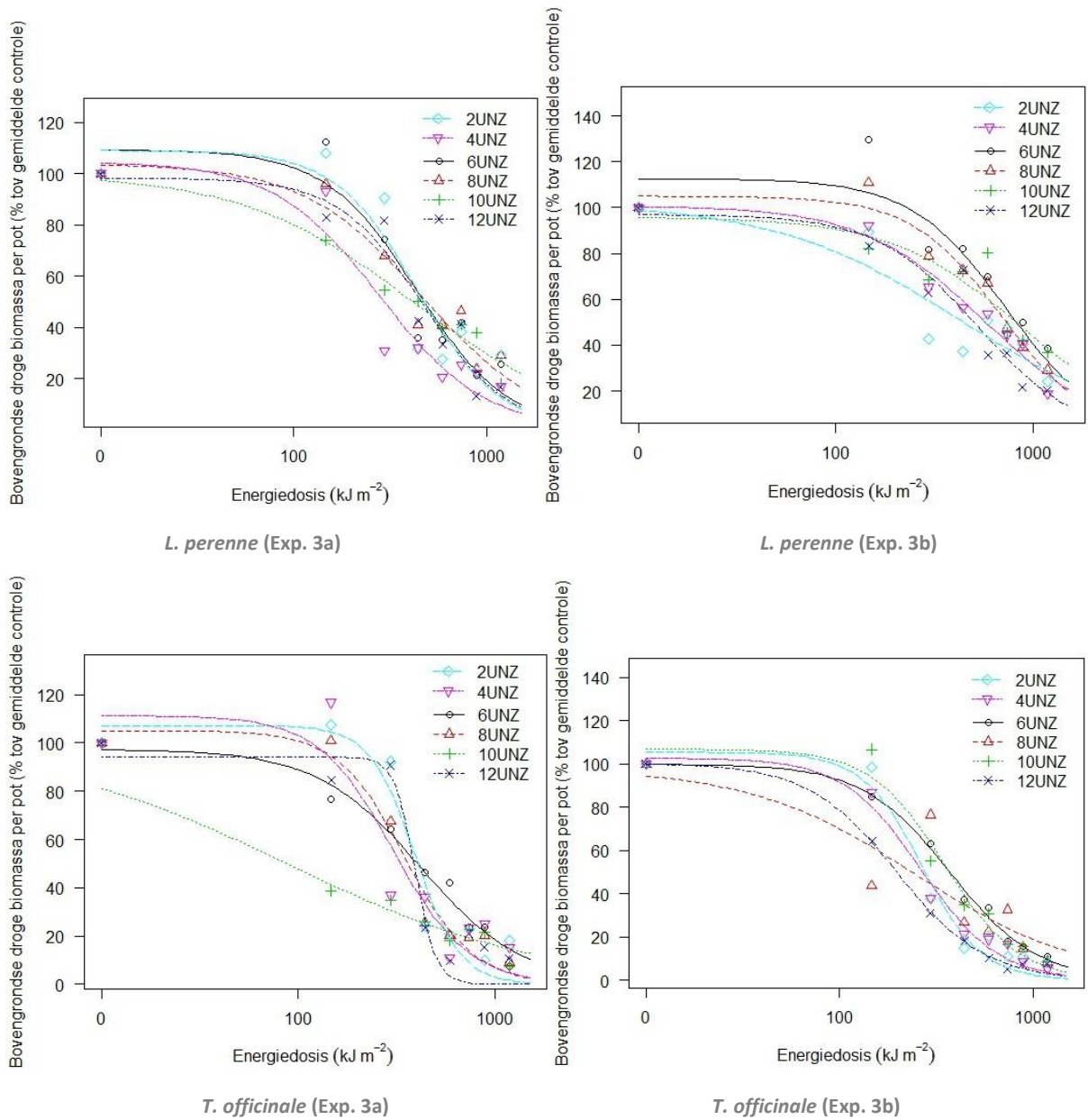
Bovengrondse droge biomassa

Figuur 33 toont per soort de bekomen dosis-responscurves van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandelen in functie van de energiedosis voor 6 behandelingen uitgevoerd op verschillende tijdstippen van de dag. In Tabel 29 worden de bijbehorende ED-waarden en significante verschillen weergegeven.

Bij *L. perenne* in experiment 3a resulteerde een behandeling uitgevoerd 10 of 12 UNZ in ED₉₀-waarden die significant lager zijn (tot 3.5 keer) dan de ED₉₀-waarden bij een behandeling 4 of 6 UNZ. In experiment 3b werd de laagste ED₉₀-waarde bekomen bij een behandeling 8 UNZ. Deze ED₉₀-waarde was 2.5 keer lager dan de hoogste ED₉₀-waarde, bij een behandeling 6 UNZ. De ED₅₀-waarde in experiment 3a was het laagst bij behandeling 12 UNZ en was tot 1.7 keer lager dan ED₅₀-waarden bij behandelingen uitgevoerd van 2 tot 10 UNZ, welke niet significant verschillen van elkaar. In experiment 3b gaven behandelingen uitgevoerd van 8 tot 12 UNZ (waarbij de ED₅₀-waarden niet significant verschillen) ED₅₀-waarden die tot 2 keer lager zijn dan behandelingen uitgevoerd vroeger op de dag (2 tot 6 UNZ).

Bij *T. officinale* in experiment 3a resulteerde een behandeling 8 UNZ in de laagste ED₉₀-waarde, welke 4.4 keer lager is dan de hoogste ED₉₀-waarde bij een behandeling uitgevoerd 6 UNZ. In experiment 3b werd de laagste ED₉₀-waarde (3.7 keer lager dan de hoogste ED₉₀-waarde bij behandeling 4 UNZ), bekomen bij een behandeling uitgevoerd 10 UNZ. Behandelingen uitgevoerd tussen 6 en 12 UNZ resulteerden in significant lagere ED₉₀-waarden dan bij behandelingen die vroeger op de dag uitgevoerd werden (2 en 4 UNZ). In experiment 3a resulteerde een behandeling uitgevoerd 6 UNZ in de laagste ED₅₀-waarde. Deze is 4.8 keer lager dan de hoogste ED₅₀-waarde, bekomen bij een behandeling 2 UNZ. In experiment 3b resulteerde een behandeling uitgevoerd 8 UNZ in de laagste ED₅₀-waarde, welke 1.9 keer lager is dan de hoogste ED₅₀-waarde (2 UNZ). Behandelingen uitgevoerd tussen 8 en 12 UNZ waren hier niet significant verschillend en resulteerden in de laagste ED₅₀-waarden.

In Fig. 34 staan de ED₉₀-waarden afgebeeld in functie van het behandelingstijdstip en de bladdikte op moment van behandelen.

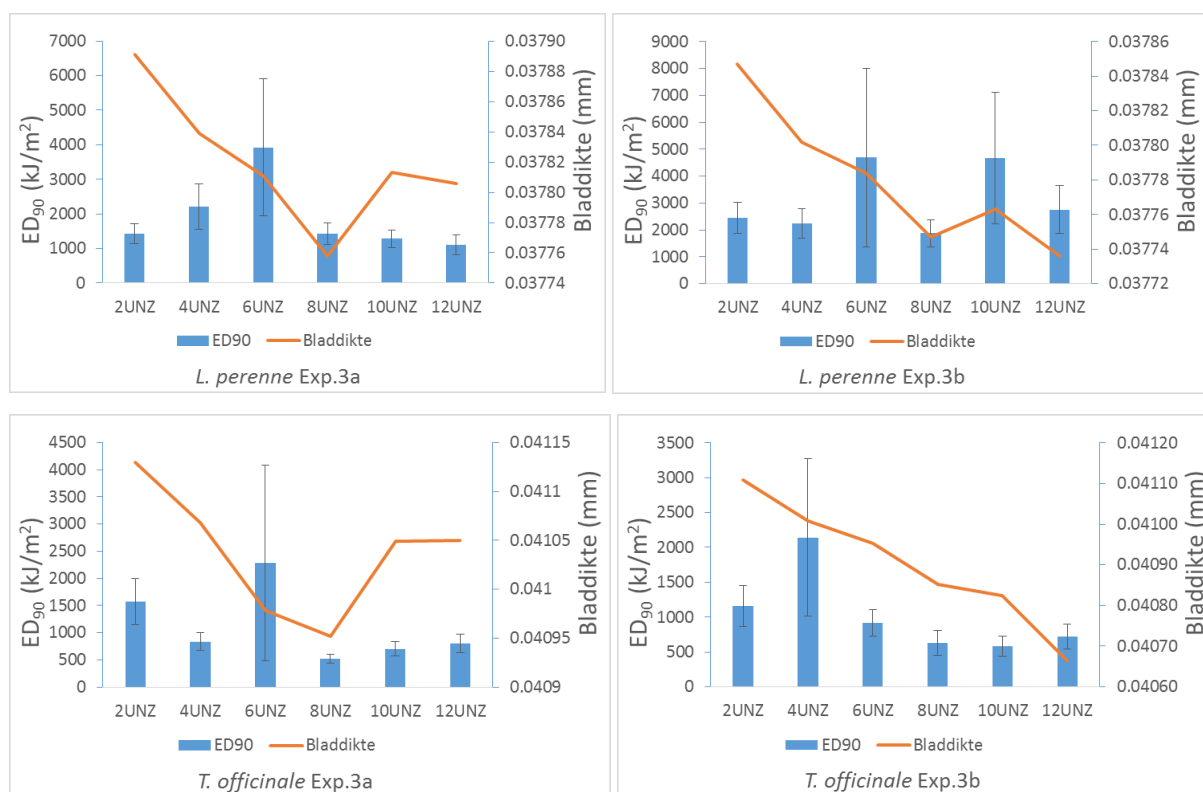


Figuur 33: Dosis - responscurves, gebaseerd op relatieve droge biomassa, gegroepeerd per soort en experiment, voor de testsoorten behandeld met heet water op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst). Behandelingen uitgevoerd op 17 (Exp. 3a) en 18 juli (Exp. 3b), tijdstip van zonsopkomst: 5u40 (Respons: bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling).

Tabel 29: De ED₅₀- en ED₉₀- waarden (kJ m⁻²) met SE op basis van de bovengrondse droge biomassa, voor de verschillende plantensoorten behandeld met heet water op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst). Behandelingen uitgevoerd op 17 (Exp. 3a) en 18 juli (Exp. 3b), tijdstip van zonsopkomst: 5u40

Planten- soort	Dag- tijdstip (UNZ)	Experiment 3a		Experiment 3b	
		ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>L. perenne</i>	2	431.69 ± 49.699 a	1426.90 ± 287.250 ac	723.94 ± 77.156 ab	2451.50 ± 572.620 ab
	4	464.10 ± 73.333 a	2214.80 ± 651.430 ab	692.98 ± 78.006 ab	2227.00 ± 544.620 ab
	6	414.75 ± 101.302 ab	3920.50 ± 1981.900 b	873.98 ± 160.402 a	4685.30 ± 3311.010 a
	8	466.56 ± 63.093 a	1421.00 ± 313.330 abc	518.31 ± 83.019 bc	1869.10 ± 515.890 b
	10	437.30 ± 45.287 a	1286.30 ± 253.030 c	425.30 ± 98.071 c	4662.40 ± 2445.630 a
	12	278.21 ± 41.178 b	1106.10 ± 279.720 c	568.20 ± 93.962 bc	2754.20 ± 896.470 ab
<i>T. officinale</i>	2	416.71 ± 82.185 ab	1570.83 ± 428.360 ab	371.33 ± 68.743 a	1159.82 ± 295.010 ab
	4	349.64 ± 39.171 ab	835.94 ± 157.907 ac	245.89 ± 95.604 ab	2141.46 ± 1132.790 a
	6	87.02 ± 62.845 c	2281.55 ± 1800.467 bd	347.86 ± 47.990 a	913.45 ± 190.530 abc
	8	394.02 ± 23.901 abc	516.32 ± 79.268 cd	196.94 ± 41.643 b	626.85 ± 180.190 abc
	10	391.72 ± 28.890 a	701.78 ± 135.823 c	266.77 ± 34.312 ab	581.84 ± 140.720 c
	12	303.33 ± 33.769 b	797.11 ± 168.286 c	262.90 ± 42.967 ab	720.22 ± 178.590 bc

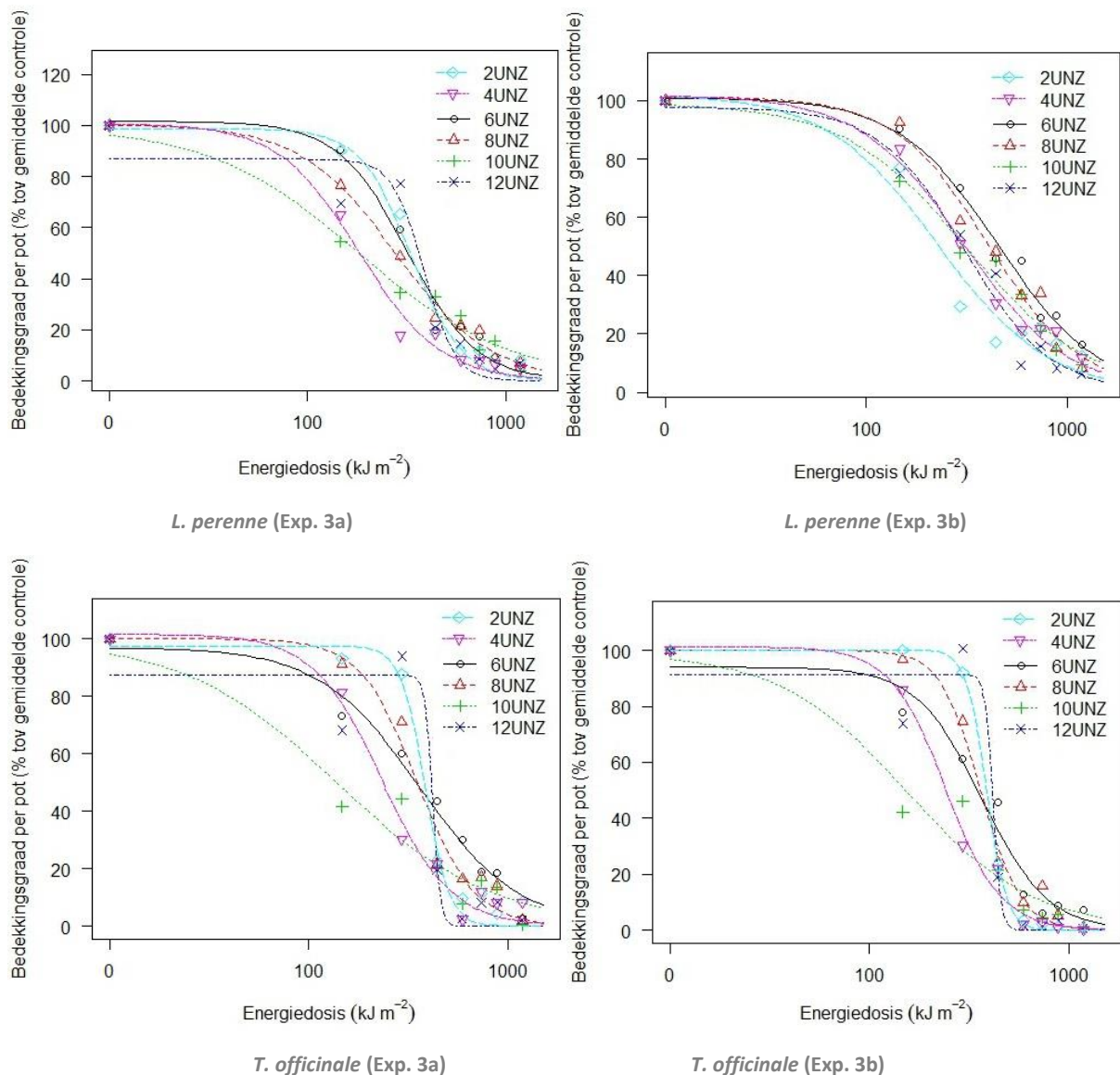
Niet significante verschillen (gebaseerd op de selectiviteitsindices en bijbehorende *P*-waarden) hebben dezelfde letter. Enkel vergelijking binnen eenzelfde plantensoort en experiment.



Figuur 34: De ED₉₀-waarden voor de verschillende testsoorten op basis van de bovengrondse droge biomassa in functie van behandelingstijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst) en de bladdikte op de tijdstippen van behandelen bij behandelingen op 17 juli (bij Exp. 3a) en 18 juli (bij Exp. 3b).

Bedekking

In Fig. 35 worden de dosis-responscurves gegeven voor de bedekkingsgraad gemeten 7 dagen na behandeling met heet water in functie van de energiedosis voor heetwaterbehandelingen toegepast op verschillende dagtijdstippen. Tabel 30 geeft de bijbehorende ED-waarden en significante verschillen. De overzichtsfoto's van deze proef zijn te vinden in de figuren 37 t.e.m. 40.



Figuur 35: Dosis - responscurves gebaseerd op relatieve bedekking, gegroepeerd per soort en experiment, voor de testsoorten behandeld met heet water op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst). Behandelingen uitgevoerd op 17 (Exp. 3a) en 18 juli (Exp. 3b), tijdstip van zonsopkomst: 5u40 (Respons: Bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling).

Bij *L. perenne* in experiment 3a gaven behandelingen uitgevoerd 8 tot 12 UNZ de laagste ED₉₀-waarden, welke 2.4 keer lager waren dan bij een behandeling uitgevoerd 6 UNZ, wat de hoogste ED₉₀-waarden gaf. In experiment 3b gaven behandelingen uitgevoerd 8 tot 12 UNZ opnieuw de laagste ED₉₀-waarden. De hoogste ED₉₀-waarde, 1.7 keer hoger dan de laagste, werd bekomen bij een behandeling uitgevoerd 2 UNZ. In experiment 3a gaven behandelingen uitgevoerd 6 of 12 UNZ de laagste ED₅₀-waarden. Deze waren 2.1 keer lager dan de hoogste ED₅₀-waarde (8 UNZ). In experiment 3b gaf een behandeling uitgevoerd 10 UNZ de laagste ED₅₀-waarde, welke 2 keer lager was dan de hoogste ED₅₀-waarde, bij een behandeling uitgevoerd 2 UNZ.

Bij *T. officinale* resulteerden, zowel in experiment 3a als 3b, behandelingen uitgevoerd 8 UNZ in de laagste ED₉₀-waarden, dewelke evenwel niet significant verschilden van de ED₉₀-waarden bij behandelingen uitgevoerd 10 of 12 UNZ. Deze ED₉₀-waarden (bij 8 UNZ) waren in Exp. 3a en 3b respectievelijk 2.8 en 1.8 keer hoger dan de hoogste ED₉₀-waarden die bekomen werden bij een behandeling uitgevoerd 2 UNZ. De laagste ED₅₀-waarden, 3 en 2.7 keer lager dan de hoogste ED₅₀-waarden in Exp. 3a en 3b respectievelijk, werden zowel in experiment 3a als 3b bekomen bij een

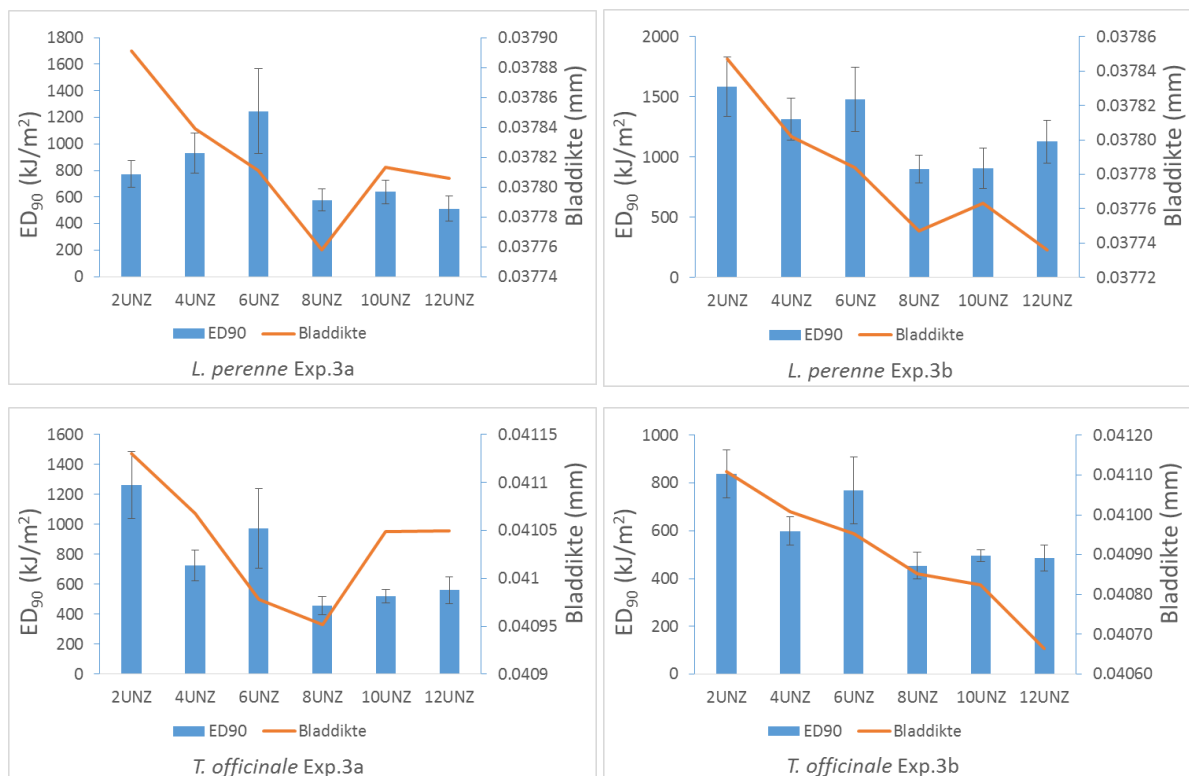
behandeling uitgevoerd 6 UNZ. In beide experimenten (3a en 3b) hoorden de hoogste ED₅₀-waarden bij behandelingen uitgevoerd 8 UNZ.

In Fig. 36 staan de ED₉₀-waarden afgebeeld in functie van het behandelingstijdstip en de bladdikte op moment van behandelen.

Tabel 30: De ED₅₀- en ED₉₀- waarden (kJ m⁻²) met SE op basis van de bedekkingsgraad voor de verschillende plantensoorten behandeld met heet water op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst). Behandelingen uitgevoerd op 17 (Exp. 3a) en 18 juli (Exp. 3b), tijdstip van zonsopkomst: 5u40

Planten- soort	Dagtijdstip (UNZ)	Experiment 3a		Experiment 3b	
		ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>L. perenne</i>	2	317.42 ± 28.656 ab	773.21 ± 102.493 ac	451.77 ± 44.106 a	1583.16 ± 246.170 a
	4	276.03 ± 33.692 a	931.76 ± 150.477 ab	403.60 ± 38.763 ab	1314.62 ± 176.380 a
	6	182.86 ± 37.565 c	1246.25 ± 318.442 b	314.79 ± 42.397 abc	1481.81 ± 266.530 a
	8	386.52 ± 20.280 b	576.52 ± 83.208 acd	308.41 ± 34.709 bc	903.43 ± 115.140 b
	10	332.44 ± 25.415 ab	637.84 ± 88.603 cd	223.70 ± 25.535 d	906.03 ± 168.620 ab
	12	182.13 ± 20.710 c	511.65 ± 95.569 d	304.56 ± 32.115 c	1129.29 ± 176.340 ab
<i>T. officinale</i>	2	358.56 ± 52.932 ab	1264.06 ± 225.071 a	366.18 ± 38.228 a	838.26 ± 99.959 a
	4	351.88 ± 28.041 a	726.28 ± 101.207 b	361.58 ± 17.766 a	599.13 ± 60.748 c
	6	139.15 ± 36.064 c	973.17 ± 264.241 ab	153.47 ± 27.551 b	768.92 ± 140.214 a
	8	420.50 ± 68.939 a	457.48 ± 58.422 c	422.00 ± 80.553 a	453.75 ± 56.355 b
	10	383.35 ± 17.803 a	518.99 ± 46.057 bc	385.85 ± 16.319 a	495.31 ± 25.671 bc
	12	233.36 ± 23.519 b	559.89 ± 88.092 bc	240.88 ± 18.703 b	485.86 ± 52.963 bc

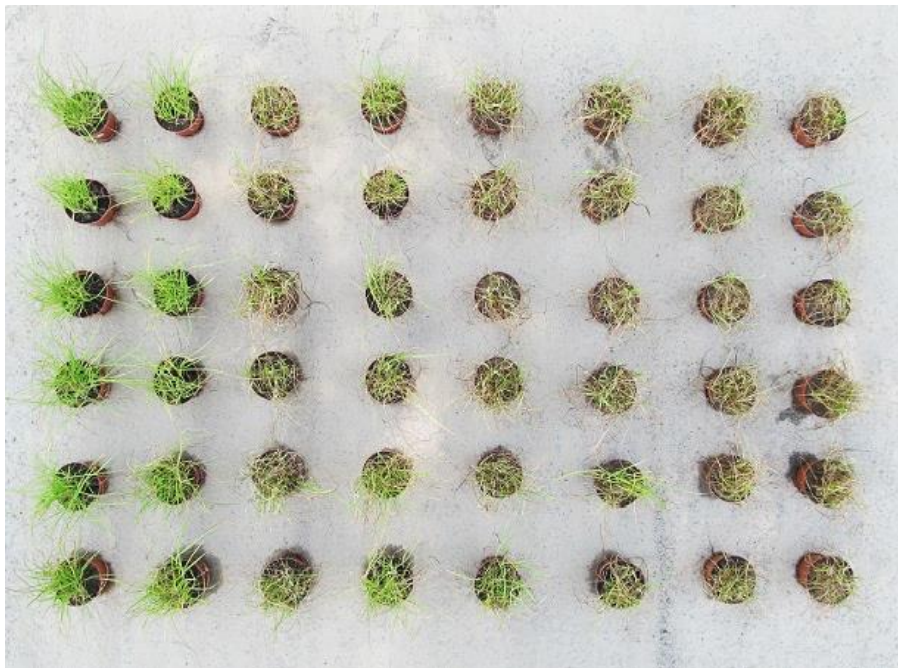
Niet significante verschillen (gebaseerd op de selectiviteitsindices en bijbehorende *P*-waarden) hebben dezelfde letter. Enkel vergelijking binnen eenzelfde plantensoort en experiment.



Figuur 36: De ED₉₀-waarden voor de verschillende testsoorten op basis van de bedekkingsgraad in functie van de behandelingstijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst) en de bladdikte op moment van behandelen bij behandelingen op 17 juli (bij Exp. 3a) en 18 juli (bij Exp. 3b) tijdstip van zonsopkomst: 5u40.



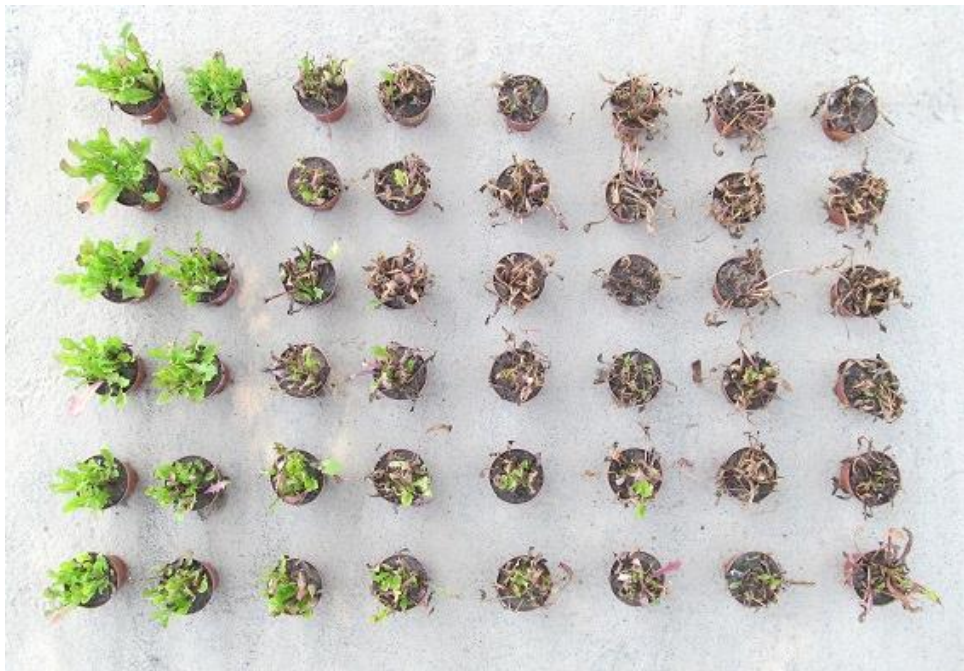
Figuur 37: De bedekking bij *L. perenne* na heetwaterbehandelingen uitgevoerd op 17 juli op verschillende tijdstippen gedurende de dag (van onder naar boven: 2, 4, 6, 8, 10 en 12 UNZ) en met verschillende energiedosissen (van links naar rechts: 0, 147, 294, 441, 589, 736, 883 en 1180 kJ m⁻² (Exp. 3a).



Figuur 38: De bedekking bij *L. perenne* na heetwaterbehandelingen uitgevoerd op 18 juli op verschillende tijdstippen gedurende de dag (van onder naar boven: 2, 4, 6, 8, 10 en 12 UNZ) en met verschillende energiedosissen (van links naar rechts: 0, 147, 294, 441, 589, 736, 883 en 1180 kJ m⁻² (Exp. 3b).



Figuur 39: De bedekking bij *T. officinale* na behandelingen uitgevoerd op 17 juli op verschillende tijdstippen gedurende de dag (van onder naar boven: 2, 4, 6, 8, 10 en 12 UNZ) en met verschillende energiedosissen (van links naar rechts: 0, 147, 294, 441, 589, 736, 883 en 1180 kJ m⁻² (Exp. 3a).



Figuur 40: De bedekking bij *T. officinale* na behandelingen uitgevoerd op 18 juli op verschillende tijdstippen gedurende de dag (van onder naar boven: 2, 4, 6, 8, 10 en 12 UNZ) en met verschillende energiedosissen (van links naar rechts: 0, 147, 294, 441, 589, 736, 883 en 1180 kJ m⁻² (Exp. 3b).

4.3.2. Discussie

Het tijdstip van de dag beïnvloedt de heetwatergevoeligheid van de geteste soorten. Over het algemeen worden bij *L. perenne* en *T. officinale* de laagste ED₉₀-waarden gevonden, zowel deze gebaseerd op de bovengrondse biomassa als op de bedekkingsgraad, indien de behandeling uitgevoerd werd tussen 8 en 12 UNZ. Deze zijn 1.8 tot 4.4 keer lager dan de hoogste ED₉₀-waarden, die gevonden worden bij behandelingen uitgevoerd tussen 2 en 6 UNZ. Dit komt overeen met de resultaten gevonden door Ulloa *et al.* (2012) en De Cauwer *et al.* (2014) die vonden dat onkruiden gevoeliger zijn voor een heetwaterbehandeling wanneer deze tussen 7 en 12 UNZ uitgevoerd werd.

Dit dagpatroon in de heetwatergevoeligheid van plantensoorten is niet te koppelen aan de variatie in bladstand gedurende de dag. Tijdens warme dagen kunnen bladeren namelijk meer erectofiel-georiënteerd zijn (Kao & Forseth, 1992) waardoor de waterretentie alsook de schade aan plantenweefsels kleiner is. In voorliggende studie werd evenwel geen dagpatroon in bladstand geconstateerd (zie Fig. 13, 3.3.3.3).

Andere factoren die het dagpatroon in heetwatergevoeligheid mogelijk kunnen verklaren zijn de luchttemperatuur en/of de relatieve waterinhoud van het blad (RWC) die allen een duidelijk dagpatroon vertonen. Hierna wordt ingegaan op deze factoren.

De testsoorten vertonen doorgaans een hogere heetwatergevoeligheid bij hogere luchttemperaturen op moment van behandelen. Hansson & Mattson (2003) daarentegen vonden geen significant effect van luchttemperatuur op moment van behandelen op de heetwatergevoeligheid van *S. alba* binnen het geteste temperatuurtraject van 7 tot 18°C. Bij ons werden op moment van behandelen evenwel hogere luchttemperaturen gemeten nl. van 27 tot 42°C (zie Tabel 19, sectie 3.3.3.3). Bij dergelijke hoge temperaturen is er hitte- en/of droogtestress en is het waargenomen effect van de luchttemperatuur op de heetwatergevoeligheid veeleer veroorzaakt door verlaging van de relatieve waterinhoud (RWC) (zie verder). Het verloop van de luchttemperatuur laat niet toe het moment waarop planten het gevoeligst zijn te voorspellen. De hoogste heetwatergevoeligheid kwam namelijk voor bij behandelingen die plaatsvonden voordat de hoogste luchttemperatuur (omstreeks 10 UNZ) (zie Tabel 19, sectie 3.3.3.3) bereikt werd.

Ulloa *et al.* (2012) toonden aan dat de thermische gevoeligheid mogelijk beïnvloed wordt door de RWC. Planten waren gevoeliger voor branden in de namiddag, wanneer de relatieve waterinhoud (RWC) van bladeren lager is. Deze bevindingen worden bevestigd in dit onderzoek gebruikmakend van meetparameters die gekoppeld zijn aan RWC met name bladdikte en drogestofgehalte. Binnen planten is de RWC recht evenredig met de bladdikte en omgekeerd evenredig met zijn drogestofgehalte. De tijdstippen waarop de testsoorten de grootste heetwatergevoeligheid kenden (8 tot 10 UNZ) komen overeen met de tijdstippen waarbij de bladdiktes het laagst waren (tussen 8 en 12 UNZ) (zie Tabel 31 en Fig. 41 en 42) en het drogestofgehalte van de planten het hoogst was (bij *L. perenne* 12 UNZ en bij *T. officinale* 10 UNZ) (zie Tabel 18 en Fig. 12, sectie 3.3.3.3). Het dagpatroon in heetwatergevoeligheid sluit echter noch perfect aan bij het dagpatroon in het drogestofgehalte noch bij het dagpatroon in bladdikte (zie Tabel 31 en figuren 34, 36, 41 en 42). In alle experimenten zijn de tijdstippen waarop de laagste bladdiktes waargenomen werden verschillend van de tijdstippen waarop de hoogste drogestofgehaltes gemeten werden. De laagste bladdikte werd steeds, behalve bij *T. officinale* in Exp. 3b, vroeger op de dag waargenomen dan het hoogste drogestofgehalte. Met uitzondering van het dagtijdstip (8UNZ) horend bij de laagste ED₉₀-waarde bij *T. officinale* in Exp. 3b gebaseerd op de bedekkingsgraad kwamen de tijdstippen van alle laagste ED₉₀-waarden, zowel gebaseerd op de bovengrondse droge biomassa als op de bedekkingsgraad, overeen met een tijdstip waarbij ofwel de laagste bladdikte waargenomen werd ofwel het hoogste drogestofgehalte gemeten werd.

Het optimaal tijdstip van behandelen met betrekking tot eco-efficiëntie varieert van dag tot dag en van plantensoort tot plantensoort. *Lolium perenne* kende de laagste ED₉₀-waarden op basis van de bovengrondse biomassa in Exp. 3a bij een behandeling uitgevoerd op 10 of 12 UNZ terwijl in Exp. 3b

de laagste ED₉₀-waarden bekomen werden indien de behandeling 8 UNZ uitgevoerd werd. Bij *T. officinale* werden de laagste ED₉₀-waarden op basis van de bovengrondse biomassa bekomen bij behandelingen uitgevoerd 8 en 10 UNZ in experimenten 3a en 3b respectievelijk. De laagste ED₉₀-waarden op basis van de bedekkingsgraad resulteerden bij *L. perenne* uit behandelingen 12 en 8 UNZ in respectievelijke experimenten 3a en 3b. Bij *T. officinale* werden in zowel experiment 3a als 3b de laagste ED₉₀-waarden op basis van de bedekkingsgraad gevonden na een behandeling 8 UNZ.

Het moet vermeld worden dat deze experimenten uitgevoerd zijn op zonnige onbewolkte dagen met hoge luchttemperaturen (tot 42 °C). Indien dit experiment uitgevoerd was op een frisse, bewolkte dag zou het dagverloop van de heetwatergevoeligheid wellicht minder uitgesproken zijn.

Tabel 31: Bladdiktes (mm) gemeten op *L. perenne* en *T. officinale* op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst) voor Exp. 3a en 3b, tijdstip van zonsopkomst: 5u40

Dagtijdstip (UNZ)	Experiment 3a		Experiment 3b	
	<i>L. perenne</i>	<i>T. officinale</i>	<i>L. perenne</i>	<i>T. officinale</i>
2	0.037891	0.041130	0.037847	0.041109
4	0.037839	0.041068	0.037802	0.041007
6	0.037811	0.040978	0.037784	0.040953
8	0.037758	0.040952	0.037747	0.040851
10	0.037813	0.041049	0.037763	0.040825
12	0.037806	0.041050	0.037736	0.040664



Figuur 41: Verloop van de bladdikte gemeten op *L. perenne* voor, gedurende en na de dag van de behandelingen met heet water (17 juli bij Exp. 3a en 18 juli bij Exp. 3b). De tijdstippen waarop behandelingen uitgevoerd zijn, zijn aangeduid met gele lijnen.



Figuur 42: Verloop van de bladdikte gemeten op *T. officinale* voor, gedurende en na de dag van de behandelingen met heet water (17 juli bij Exp. 3a en 18 juli bij Exp. 3b). De tijdstippen waarop behandelingen uitgevoerd zijn, zijn aangeduid met gele lijnen.

5. Besluit

Verhoogt de toevoeging van een hulpstof de heetwatergevoeligheid van plantensoorten? [O1]

Uit de dosis-responscurves blijkt dat de toevoeging van een hulpstof doorgaans (in 50 van de 60 geteste hulpstof x plantenpopulatie combinaties) geen significante invloed heeft op de heetwatergevoeligheid van de planten. Bij sommige plantensoorten resulteerde de toevoeging van sommige hulpstoffen wel in een verhoogde heetwatergevoeligheid (tot 2.7 keer gevoeliger t.o.v. heet water zonder hulpstof). Waarschijnlijk is er bij gebruik van hoge waterdosissen weinig additionele werking (zoals bv. de bevordering van het contactoppervlak tussen waterdruppel en plantoppervlak) vanwege hulpstoffen te verwachten gezien de reeds intense bevochtiging van het plantoppervlak. Mogelijk heeft de toevoeging van hulpstoffen wel baat indien het heet water in lagere dosissen of met een kleinere druppelgrootte toegepast zou worden. Het effect van de toevoeging van een welbepaalde hulpstof varieerde evenwel van plantensoort tot plantensoort en interageert met omgevingsomstandigheden. Hierdoor zijn er moeilijk aanbevelingen hieromtrent te maken.

Hebben de gebruikte hulpstoffen een fytotoxische werking? [O2]

Onbehandelde planten en met hulpstoffen op kamertemperatuur (gemiddeld 23.5°C) behandelde planten vertoonden geen significante verschillen in bedekking of bovengrondse biomassa. Dit betekent dat de gebruikte hulpstoffen bij de geteste dosis van 0.88, 2.21 en 3.64 mL handelsproduct m⁻² in Exp. 1a en 0.53, 1.16 en 3.64 mL m⁻² in Exp. 1b, voor respectievelijk Fieldor Max, Vegetop en Mousse de Lin geen fytotoxische werking hebben.

Zijn er inter- en intraspecifieke verschillen in heetwatergevoeligheid? [O3]

Dosis-responsproeven tonen aan dat plantensoorten aanzienlijk verschillen in heetwatergevoeligheid. Van de geteste soorten is *F. rubra* het meest gevoelig en *L. perenne* het minst gevoelig voor een eenmalige heetwaterbehandeling. *F. rubra* is ongeveer 1.5 keer gevoeliger dan *T. officinale* en 5 keer gevoeliger dan *L. perenne*. Het verschil in gevoeligheid tussen de plantensoorten kan niet altijd verklaard worden door verschillen in groeiwijze (of bladstand) of specifieke bladoppervlakte. De hoge heetwatergevoeligheid bij *F. rubra* houdt wellicht verband met het hoog drogestofgehalte van de bladeren in vergelijking met de andere geteste plantensoorten.

Intraspecifieke verschillen in heetwatergevoeligheid houden veelal verband met verschillen in specifieke bladoppervlakte en bladstand. Bij *L. perenne* ondervond het ras 'Plenty', met meer planofiele groeiwijze, grotere weefselschade dan het ras 'Meloni', met meer erecte groeiwijze, omwille van hogere retentie. Bij *T. officinale* was de kloon die de grootste bladoppervlakte en specifieke bladoppervlakte bezat het meest gevoelig ten aanzien van heet water omwille van de effectievere warmteoverdracht en verhoudingsgewijs lagere hoeveelheid plantvocht per mm² bladoppervlakte.

Met onkruidbestrijding door middel van heet water wordt het best aandacht besteed aan de onkruidflora aanwezig op de verharding. Voor de meest eco-efficiënte bestrijding kan de onkruidbeheerder met kennis over de gevoeligheid van plantenpopulaties de energiedosis afstellen in functie van de aanwezige onkruidflora.

Wat is de meest eco-efficiënte combinatie van energiedosis per behandeling en bestrijdingsfrequentie om de biomassa in evenwicht te houden of te reduceren? [O4]

De meest effectieve combinatie van bestrijdingsfrequentie en energiedosis is afhankelijk van de plantensoort. Het meest eco-efficiënte schema zorgt voor reducties van de totale droge biomassa t.o.v. de uitgangssituatie van 22, 60 en 27% bij respectievelijk *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale*. Hierbij worden 5 behandelingen toegediend over 12 weken met energiedosissen van 441 kJ m⁻² per beurt (cumulatief energieverbruik van 2205 kJ m⁻²). Bij de afweging van het bestrijdingsschema zal ook

de praktische uitvoerbaarheid en de algemene kosten in rekening gebracht moeten worden. Men zal eerder opteren voor een schema met een lagere behandelingsfrequentie maar met een hoger cumulatief energieverbruik om gelijkaardige reducties in totale droge biomassa te bekomen aangezien dit de arbeids- en andere kosten sterk verlaagt. Zo kan men kiezen om 4 behandelingen toe te dienen met elk een dosis van 589 kJ m^{-2} over 12 weken. Dit komt neer op een cumulatief energieverbruik van 2356 kJ m^{-2} en reducties in totale droge biomassa t.o.v. de uitgangssituatie van 54, 62 en 16% voor respectievelijk *L. perenne*, *P. major* en *T. officinale*.

In sommige bestrijdingsstrategieën is een reductie niet vereist maar streeft men veeleer naar een evenwicht houden van de totale biomassa. Over de 12 weken waarin het experiment uitgevoerd werd, is enkel een significante stijging in totale droge biomassa waargenomen bij *T. officinale*. Bij deze soort was de totale droge biomassa bij onbehandelde planten op het einde van het experiment significant verdubbeld t.o.v. de uitgangssituatie. Om tegen het einde van het seizoen de biomassa op het niveau van de uitgangssituatie terug te brengen waren over de 12 weken 2 behandelingen van elk 589 kJ m^{-2} nodig (cumulatief energieverbruik van 1178 kJ m^{-2}).

Op welk moment van de dag is de heetwatergevoeligheid van plantensoorten het grootst? [O5]

Dosis-responsproeven tonen aan dat een behandeling die in de namiddag uitgevoerd wordt (8 tot 12 UNZ), meer weefselschade aanricht dan een behandeling uitgevoerd in de voormiddag (2 tot 6 UNZ). De hoogste gevoeligheid, gebaseerd op zowel de bovengrondse droge biomassa als de bedekkingsgraad, komt bij *L. perenne* voor bij behandelingen uitgevoerd 8 en 12 UNZ en bij *T. officinale* bij behandelingen uitgevoerd 8 en 10 UNZ. Op de tijdstippen waarbij deze plantensoorten het meest heetwatergevoelig zijn is *L. perenne* tot 3.5 keer gevoeliger en *T. officinale* 4.4 keer gevoeliger dan op de tijdstippen waarop deze soorten het minst gevoelig zijn.

Is de dagvariatie in heetwatergevoeligheid gekoppeld aan de dagvariatie in bladdikte, waterinhoud of bladstand van de plant? [O6]

Dosis-responsproeven, uitgevoerd op verschillende tijdstippen gedurende de dag, tonen aan dat er een verband is tussen de dagvariatie in heetwatergevoeligheid enerzijds en de dagvariatie in bladdikte en drogestofgehalte anderzijds. Er was echter geen duidelijk verband met de bladstand. De tijdstippen waarop de bladdiktes het laagst waren (tussen 8 en 12 UNZ) en het drogestofgehalte van de planten het hoogst was (bij *L. perenne* 12 UNZ en bij *T. officinale* 10 UNZ) komen overeen met de tijdstippen waarbij de testsoorten de grootste heetwatergevoeligheid kennen (8 tot 10 UNZ). Dit is in lijn met de bevindingen van Ulloa *et al.* (2012), die aantoonde dat de thermische gevoeligheid mogelijk beïnvloed wordt door de relatieve waterinhoud (RWC). Bladdikte en drogestofgehalte zijn sterk gerelateerd met de RWC (hoe groter de RWC, hoe dikker het blad en hoe lager het drogestofgehalte).

Hoewel de tijdstippen gedurende de dag, horende bij de laagste ED₉₀-waarden, zowel gebaseerd op de bovengrondse droge biomassa als op de bedekkingsgraad, in 7 van de 8 keer overeenkwamen met een tijdstip waarbij ofwel de laagste bladdikte ofwel het hoogste drogestofgehalte gemeten werd, sluit het dagpatroon in heetwatergevoeligheid noch perfect aan bij het dagpatroon in het drogestofgehalte noch bij het dagpatroon in bladdikte.

Het is aangeraden om heetwaterbehandelingen te verrichten in de namiddag, en dit liefst op zeer warme dagen aangezien dan de valbeweging in RWC het grootst en het drogestofgehalte het laagst is. Op deze momenten zijn onkruiden het meest gevoelig en is de schade bijgevolg het grootst.

6. Aanbevelingen voor verder onderzoek

Hier volgen enkele aanbevelingen voor verder onderzoek.

Om aan te tonen of hulpstoffen een effect hebben op de heetwatergevoeligheid van plantensoorten indien de waterdosis lager is, kunnen best verschillende spuitdoppen gebruikt worden met verschillend druppelgroottespectrum.

Om interspecifieke verschillen in heetwatergevoeligheid nog beter te kunnen verklaren, dienen nog meer plantensoorten opgenomen te worden in de studie. Iedere plantensoort dient hierbij uitgebreid morfologisch/fysiologisch gekarakteriseerd te worden.

Indien de bedekking van onkruiden bepaald wordt met een beeldverwerkingsprogramma door een selectie op kleur zoals in deze masterproef is het aan te raden om de planten in zwarte potten te planten en de foto's te nemen op een zwarte achtergrond.

Referentielijst

- AL HAJ KHALED, R., DURU, M., THEAU, J. P., PLANTUREUX, S., & CRUZ, P. (2005) Variation in leaf traits through seasons and N-availability levels and its consequences for ranking grassland species. *Journal of Vegetation Science* **16**, 391–398.
- ASCARD, J. (1994) Dose-response models for flame weeding in relation to plant size and density. *Weed Research* **34**, 377–385.
- ASCARD, J. (1995a) Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. *Weed Research* **35**, 398–411.
- ASCARD, J. (1995b) *Thermal weed control by flaming. Biological and technical aspects*. PhD Thesis. Swedisch University of Agricultural Sciences, Alnarp, Sweden.
- ASTATKIE, T., RIFAI, M. N., HAVARD, P., ADSETT, J., LACKO-BARTOSOVA, M., & OTEPKA, P. (2007) Effectiveness of hot water, infrared and open flame thermal units for controlling weeds. *Biological Agriculture and Horticulture* **25**, 1-12
- BELLINO, A. R., POCHAT, S. L. E., & IUSO, M. (2014) *Analyse du cycle de vie comparative des techniques de desherbage en zones non agricoles*. EVEA.
- BENVENUTI, S. (2004) Weed dynamics in the Mediterranean urban ecosystem : ecology, biodiversity and management. *Weed Research* **44**, 341-354.
- BERKLEY, D. M., & BERKLEY, E. E. (1933) Super optimal and thermal death temperatures of the cotton plant as affected by variations in relative humidity. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **20**, 583–604.
- BOGAERT, S. (2013) *Eco-efficiënte en effectieve onkruidbestrijding met heet water*. Master's thesis. UGent, Ghent, Belgium.
- BOONEN, E., BEELDENS, A., FAGOT, M., DE CAUWER, B., REHEUL, D., & BULCKE, R. (2012) Preventive Weed Control on Pavements : Reducing the Environmental Impact of Herbicides Part 1 : A Field Survey Study. In: *Proceedings 2012 10th International Conference on Concrete Block Paving* (24-26 November, Shanghai, People's Republic of China). 1-14.
- BOONEN, E., DE CAUWER, B., FAGOT, M., BEELDENS, A., & REHEUL, D. (2013) *Handleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen*. OCW
- BRISKE, D.D., & RICHARDS, J.H., (1995) *Wildland Plants: Physiological Ecology and Developmental Morphology* (p.635-710) *Plant Responses to Defoliation: A Physiological, Morphological and Demographic Evaluation*. (ed. D. J. Bedunah, R. E. Sosebee). Society for Range Management, Denver, Colorado, USA.
- BURQUEZ, A. (1987) Leaf thickness and water deficit in plants: A tool for field studies. *Journal of Experimental Botany* **38**, 109–114.

- COLLINS, M. (2013) Thermal weed control, a technology with a future? In: *Proceedings 1999 Twelfth Australian Weeds Conference*. (ed. A.C. Bishop, M. Boersma & C.D. Barnes) (12-16 September, Hobart, Tasmania, Australia). 25-28. Tasmanian Weed Society, Hobart, Tasmania, Australia.
- COLLINS, R. M., BERTRAM, A., ROCHE, J.-A., & SCOTT, M. E. (2003) Preliminary studies in the comparison of hot water and foam for weed control. In: *Proceedings 2002 5th European Weed Research Society Workshop on Physical Weed Control* (ed. D.C. Cloutier) (11-13 March, Pisa, Italy). 207-215. European Weed Research Society.
- DANIELL, J. W., CHAPPELL, W. E., & COUCH, H. B. (1969) Effect of sublethal and lethal temperatures on plant cells. *Plant Physiology* **44**, 1684–1689.
- DE CAUWER, B. (2013) *Cursus Herbologie*. UGent, faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, vakgroep plantaardige productie.
- DE CAUWER, B., BOGAERT, S., CLAERHOUT, S., BULCKE, R., & REHEUL, D. (2014) Efficacy and reduced fuel use for hot water weed control on pavements. *Weed Research* **55**, 195-205.
- DE CAUWER, B., FAGOT, M., BEELDENS, A., BOONEN, E., BULCKE, R., & REHEUL, D. (2013a) Integrating preventive and curative non-chemical weed control strategies for concrete block pavements. *Weed Research* **54**, 97–107.
- DE CAUWER, B., FAGOT, M., BEELDENS, A., BOONEN, E., BULCKE, R., & REHEUL, D. (2013b) Reduced weed growth with different paving constructions. *Weed Research* **54**, 151–161.
- DE CAUWER, B., FAGOT, M., & REHEUL, D. (2011) *Onkruidbestrijding op halfopen verhardingen*. OCV
- DECREET 10 juli. (2013) *Decreet tot vaststelling van een kader ter verwezenlijking van een duurzaam gebruik van pesticiden en tot wijziging van Boek I van het Milieuwetboek, Boek II van het Milieuwetboek, dat het Waterwetboek inhoudt, de wet van 28 december 1967 betreffende de onbevaarbare waterlopen en het decreet van 12 juli 2001 betreffende de beroepsopleiding in de landbouw*. Belgisch staatsblad.
- DECREET 21 december. (2001) *Decreet houdende vermindering van gebruik van bestrijdingsmiddelen voor openbare diensten in het Vlaamse Gewest*. Belgisch Staatsblad.
- DECREET 8 Februari. (2013, January 1) *Decreet houdende duurzaam gebruik van pesticiden in het Vlaams gewest*. Belgisch Staatsblad.
- FAGOT, M., DE CAUWER, B., BEELDENS, A., BOONEN, E., BULCKE, R., & REHEUL, D. (2011) Weed flora in paved areas in relation to environment, pavement characteristics and weed control. *Weed Research* **51**, 650–660.
- FYTOWEB (2014) Fytoweb. Detail handelsmiddel: Fieldor Max. Raadpleegbaar op: <http://www.fytoweb.fgov.be/ProdCommerc/ProdCommercialDet.asp?SearchValue=4548&chkH andprod=&chksamenst=&chkTeelt=&chkZiek=&chkAard=&chkFormtype=&chkEtiket=&chkHou der=> (7/05/2015)
- FYTOWEB (2015) Fytoweb. Detail handelsmiddel: Vegetop. Raadpleegbaar op: <http://www.fytoweb.fgov.be/ProdCommerc/ProdCommercialDet.asp?ExternSearch=vegetop> (7/05/2015)

- GERHARDS, R., & CHRISTENSEN, S. (2003) Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. *Weed Research* **43**, 385–392.
- HANKE, I., WITTMER, I., BISCHOFBERGER, S., STAMM, C., & SINGER, H. (2010) Relevance of urban glyphosate use for surface water quality. *Chemosphere* **81**, 422–429.
- HANSEN, P. K., KRISTOFFERSEN, P., & KRISTENSEN, K. (2004) Strategies for non-chemical weed control on public paved areas in Denmark. *Pest Management Science* **60**, 600–604.
- HANSSON, D. (2002) *Hot water weed control on hard surface areas*. PhD thesis. Swedisch University of Agricultural Sciences, Alnarp, Sweden.
- HANSSON, D., & ASCARD, J. (2002) Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Research* **42**, 307–316.
- HANSSON, D., & MATTSSON, J. E. (2002) Effect of drop size, water flow, wetting agent and water temperature on hot-water weed control. *Crop Protection* **21**, 773–781.
- HANSSON, D., & MATTSSON, J. E. (2003) Effect of air temperature, rain and drought on hot water weed control. *Weed Research* **43**, 245–251.
- HAWTHORN, W. R. (1974) The biology of Canadian weeds. 4. *Plantago major* and *P. rugelii*. *Canadian Journal of Plant Science* **54**, 383–396.
- IVANOVIC, T., & HRENOVIC, J. (2010) Surfactants in the environment. *Arhiv Za Higijenu Rada I Toksikologiju*, **61**, 95–110.
- JONKERS, N., & VAN DER NOORT, L. (2012) *LCA-quickscan vergelijking onkruidbestrijdingsmethoden*. IVAM.
- KAO, W.Y., FORSETH, I.N. (1992) Responses of gas exchange and phototropic leaf orientation in soybean to soil water availability, leaf water potential, air temperature, and photosynthetic photon flux. *Environmental and Experimental Botany* **32**, 153-161.
- KEMPENAAR, C., LOTZ, L. A. P., RIEMENS, M. M., & KNOL, J. (2006) Sustainable weed management on concrete block pavement. In: *proceedings 2006 8th International Conference on Concrete Block Paving* (ed. D Smith) (6-8 November, San Francisco, California, USA). 295-302. Interlocking Concrete Pavement Institute, San Francisco, California, USA.
- KEMPENAAR, C., & SAFT, R. J. (2006) *Weed control in the public area: combining environmental and ecological targets*. Plant Research International B.V.
- KEMPENAAR, C., & SPIJKER, J. H. (2004) Weed control on hard surfaces in The Netherlands. *Pest Management Science* **60**, 595–599.
- KNEZEVIC, S. Z., STREIBIG, J. C., & RITZ, C. (2007) Utilizing R software package for dose-response studies: The concept and data analysis. *Weed Technology* **21**, 840–848.
- KRISTOFFERSEN, P., RASK, A. M., GRUNDY, A. C. *et al.* (2007a) A review of pesticide policies and regulations for urban amenity areas in seven European countries. *Weed Research*, **48**, 201–214.

- KRISTOFFERSEN, P., RASK, A. M., & LARSEN, S. U. (2007b) Non-chemical weed control on traffic islands : a comparison of the efficacy of five weed control techniques. *Weed Research* **48**, 124–130.
- LALOR, W. F., & BUCHELE, W. F. (1970) Effects of thermal exposure on the foliage of young corn and soybean plants. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **13**, 534–537.
- LEON, R. G., & FERREIRA, D. T. (2008) Interspecific differences in weed susceptibility to steam injury. *Weed Technology* **22**, 719–723.
- MIEURE, J. P., WATERS, J., HOLT, M. S., & MATTHIJS, E. (1990) Terrestrial safety assesment of linear alkylbenzene sulfonate. *Chemosphere* **21**, 251–262.
- OCW. (2006) *Handleiding voor de keuze van de asfaltverharding bij het ontwerp of onderhoud van wegconstructies*.
- OCW. (2009) *Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen*.
- ORDONNANTIE 20 juni. (2013) *Ordonnantie betreffende een pesticidegebruik dat verenigbaar is met de duurzame ontwikkeling van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest*. Belgisch Staatsblad.
- PERGOOT, J., SIMONS, P., THYS, L., VAN DERSTAPPEN, E., VAN DE VELDE, G., & VAN DE WEERDT, J. (2004) *Formularium: Wiskunde, Fysica, Chemie*. Uitgeverij Van In, Wommelgem, Belgium.
- PIETERS, J. (2010) *Fysica 4: Fysische transportverschijnselen. Deel 2: warmteoverdracht* (pp. 3–4). UGent, faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, vakgroep biosysteemtechniek.
- POPESCU, M., & POPESCU, G. C. (2014) Diurnal changes in leaf photosynthesis and relative water content of grapevine. *Current Trends in Natural Sciences*, **3**, 74–81.
- RAHKONEN, J., & JOKELA, H. (2003) Infrared radiometry for measuring plant leaf temperature during thermal weed control treatment. *Biosystems Engineering* **86**, 257–266.
- RAMWELL, C. T. (2005) Herbicide sorption to concrete and asphalt. *Pest Management Science* **61**, 144–50.
- RASK, A. M., & KRISTOFFERSEN, P. (2007) A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Research* **47**, 370–380.
- RASK, A. M., LARSEN, S. U., ANDREASEN, C., & KRISTOFFERSEN, P. (2013) Determining treatment frequency for controlling weeds on traffic islands using chemical and non-chemical weed control. *Weed Research* **53**, 249–258.
- REHEUL, D. (2010) *Cursus Plantaardige Productiesystemen*. UGent, faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, vakgroep plantaardige productie.
- RICHTLIJN. (1980) (80/778/EEG) *RICHTLIJN VAN DE RAAD van 15 juli 1980 betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water* (pp. 11–29).
- RICHTLIJN. (2008) (2000/60/EG) *Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid*.

- RIFAI, M. N., MILLER, J., GADUS, J., OTEPKA, P., & KOSIK, L. (2003) Comparison of infrared, flame and steam units for their use in plant protection. *Research in Agricultural Engineering* **49**, 65–73.
- RITZ, C., & STREIBIG, J. C. (2005) Bioassay analysis using R. *Journal of Statistical Software* **12**, 1–22.
- SAFT, R. J. (2005). *Update milieuanalyse "Onkruidbestrijding op verhardingen."*. IVAM.
- SAFT, R. J., & STAATS, N. (2002) *Beslisfactoren voor onkruidbestrijding op verhardingen. LCA, risico-analyse, kostenanalyse, en hinderbeleving*. IVAM.
- SCOTT, M. J., & JONES, M. N. (2000) The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochimica et Biophysica Acta* **1508**, 235–251.
- SKARK, C., ZULLEI-SEIBERT, N., WILLME, U., GATZEMANN, U., & SCHLETT, C. (2004) Contribution of non-agricultural pesticides to pesticide load in surface water. *Pest Management Science* **60**, 525-530.
- SPANOGHE, P. (2014) *Cursus Fytofarmacie*. UGent, faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, vakgroep Gewasbescherming.
- STEBER, J., & WIERICH, P. (1987) The anaerobic degradation of detergent range fatty alcohol ethoxylates. Studies with ¹⁴C-labelled model surfactants. *Water Research* **21**, 661–667.
- STEWART-WADE, S. M., NEUMANN, S., COLLINS, L. L., & BOLAND, G. J. (2002) The biology of Canadian weeds. 117. *Taraxacum officinale* G. H. Weber ex Wiggers. *Canadian Journal of Plant Science* **82**, 825–853.
- The Engineering ToolBox. Thermal conductivity of some common materials and gases. Raadpleegbaar op: http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html (27/05/2015)
- Tu, M. (2004) Waipuna™ Hot Foam System. Raadpleegbaar op: <http://www.invasive.org/gist/tools/hotfoam.html> (17/03/2015)
- ULLOA, S. M., DATTA, A., BRUENING, C., GOGOS, G., ARKEBAUER, T. J., & KNEZEVIC, S. Z. (2012) Weed control and crop tolerance to propane flaming as influenced by the time of day. *Crop Protection* **31**, 1–7.
- VAN DE PLASSCHE, E., DE BRUIJN, J., & FEIJTEL, T. (1997) Risk assessment of four major surfactant groups in the Netherlands: Application of monitoring data. *Tenside, Surfactants, Detergents* **34**, 242–249.
- VANHALA, P., KURSTJENS, D., ASCARD, J. *et al.* (2004) Guidelines for physical weed control research : flame weeding , weed harrowing and intra-row cultivation. In: *Proceedings 2004 6th European Weed Research Society Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. (8-10 March, Lillehammer, Norway). 194-225. European Weed Research Society.
- VERMEULEN, G. D., VERWIJS, B. R., & KEMPENAAR, C. (2006) *Effectiveness of weed control methods on pavement*. Plant Research International, Wageningen.
- VMM. (2011) Ruimtegebruik door transportnetwerk. Raadpleegbaar op: <http://www.milieuraapport.be/nl/feitencijfers/sectoren/transport/ruimtegebruik-door-transport/ruimtegebruikdoor-transportnetwerk/> (24/03/2015)

VMM. (2014) *Pesticidenreductie bij openbare besturen - jaar 2011 en 2012.*

WARWICK, S. I. (1979) The biology of Canadian weeds. 37 *Poa annua* L. *Canadian Journal of Plant Science* **59**, 1053–1066.

Bijlagen

Bijlage 1: Gebruikte modellen en bijhorende parameters van de verschillende dosis-responscurves

Tabel I: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie paramater Weibull model voor de verschillende testpopulaties behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof, berekend op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling (Exp. 1a)

Plantenpopulatie	Hulpstof	Modelparameters					
		b		d		e	
		gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	-	0.43949 \pm 0.10569	0.0001	3.36244 \pm 0.20108	0.0000	473.48809 \pm 96.58628	0.0000
	Fieldor Max	0.70406 \pm 0.12766	0.0000	3.36702 \pm 0.19905	0.0000	573.98098 \pm 76.01695	0.0000
	Vegetop	0.6552 \pm 0.1145	0.0000	3.38875 \pm 0.19841	0.0000	539.22609 \pm 75.53276	0.0000
	Mousse de Lin	0.75608 \pm 0.12436	0.0000	3.40595 \pm 0.19606	0.0000	595.59596 \pm 73.20401	0.0000
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	-	0.80316 \pm 0.16469	0.0000	2.77597 \pm 0.19857	0.0000	629.51484 \pm 92.55579	0.0000
	Fieldor Max	0.93252 \pm 0.1721	0.0000	2.82263 \pm 0.19234	0.0000	628.66011 \pm 79.64313	0.0000
	Vegetop	1.01806 \pm 0.16439	0.0000	2.88028 \pm 0.19028	0.0000	561.91238 \pm 64.59723	0.0000
	Mousse de Lin	0.9975 \pm 0.21058	0.0000	2.72162 \pm 0.20207	0.0000	662.49067 \pm 82.54761	0.0000
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	-	1.556349 \pm 0.333166	0.0000	1.560482 \pm 0.108597	0.0000	514.217 \pm 44.83229	0.0000
	Fieldor Max	1.942133 \pm 0.436958	0.0000	1.575276 \pm 0.103083	0.0000	439.951289 \pm 32.390284	0.0000
	Vegetop	1.613868 \pm 0.23513	0.0000	1.688938 \pm 0.090121	0.0000	589.014308 \pm 39.599739	0.0000
	Mousse de Lin	2.730708 \pm 0.495617	0.0000	1.665964 \pm 0.080913	0.0000	562.616935 \pm 26.086284	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	-	0.78068 \pm 0.18497	0.0001	1.71586 \pm 0.10524	0.0000	192.34203 \pm 33.70537	0.0000
	Fieldor Max	1.33789 \pm 0.38642	0.0008	1.72148 \pm 0.10512	0.0000	238.04953 \pm 23.9821	0.0000
	Vegetop	1.38224 \pm 0.31948	0.0000	1.71414 \pm 0.10545	0.0000	247.93683 \pm 24.43227	0.0000
	Mousse de Lin	1.62378 \pm 0.37632	0.0000	1.68612 \pm 0.10846	0.0000	341.39816 \pm 28.57074	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	-	0.43006 \pm 0.12904	0.0013	2.17438 \pm 0.13351	0.0000	106.08666 \pm 47.46155	0.0281
	Fieldor Max	0.51656 \pm 0.13396	0.0002	2.17576 \pm 0.13339	0.0000	146.07111 \pm 44.91322	0.0016
	Vegetop	1.16317 \pm 0.22577	0.0000	2.18928 \pm 0.13169	0.0000	284.67415 \pm 29.57431	0.0000
	Mousse de Lin	0.95042 \pm 0.18178	0.0000	2.17339 \pm 0.13332	0.0000	263.24364 \pm 33.74287	0.0000

Tabel II: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie parameter Weibull model voor de verschillende testpopulaties behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof, berekend op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling (Exp. 1b)

Plantenpopulatie	Hulpstof	Modelparameters					
		b		d		e	
		gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	-	0.81332 \pm 0.20013	0.0001	1.79171 \pm 0.12749	0.0000	989.29442 \pm 158.06629	0.0000
	Fieldor Max	0.58483 \pm 0.18181	0.0018	1.77068 \pm 0.13271	0.0000	1214.52447 \pm 307.42988	0.0002
	Vegetop	0.95467 \pm 0.2391	0.0001	1.75706 \pm 0.13141	0.0000	858.23018 \pm 111.27738	0.0000
	Mousse de Lin	0.95963 \pm 0.37089	0.0114	1.69612 \pm 0.15267	0.0000	1077.25931 \pm 162.03086	0.0000
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	-	0.39028 \pm 0.14698	0.0095	2.83003 \pm 0.2414	0.0000	418.537 \pm 139.36986	0.0035
	Fieldor Max	0.4259 \pm 0.15379	0.0069	2.82555 \pm 0.24217	0.0000	616.63455 \pm 185.08876	0.0013
	Vegetop	0.47975 \pm 0.15336	0.0024	2.83345 \pm 0.24082	0.0000	303.58456 \pm 92.20072	0.0015
	Mousse de Lin	0.40865 \pm 0.15198	0.0086	2.82157 \pm 0.24265	0.0000	428.70715 \pm 137.84695	0.0026
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	-	2.080834 \pm 1.00862	0.0422	1.285443 \pm 0.142745	0.0000	736.172762 \pm 68.294003	0.0000
	Fieldor Max	1.601893 \pm 0.421	0.0003	1.411545 \pm 0.110412	0.0000	780.876013 \pm 71.341924	0.0000
	Vegetop	1.686182 \pm 0.586178	0.0051	1.358415 \pm 0.136586	0.0000	547.945192 \pm 62.624771	0.0000
	Mousse de Lin	30.243184 \pm 84.980731	0.7228	1.098531 \pm 0.060086	0.0000	585.315747 \pm 11.853415	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	-	1.377567 \pm 0.316433	0.0000	0.787299 \pm 0.055234	0.0000	324.009467 \pm 33.87935	0.0000
	Fieldor Max	2.029712 \pm 0.878826	0.0234	0.711047 \pm 0.065273	0.0000	521.841491 \pm 42.159958	0.0000
	Vegetop	1.278213 \pm 0.260143	0.0000	0.793294 \pm 0.054367	0.0000	333.472757 \pm 35.755457	0.0000
	Mousse de Lin	1.77443 \pm 0.418993	0.0001	0.788344 \pm 0.053578	0.0000	410.681633 \pm 33.584741	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	-	0.93742 \pm 0.190074	0.0000	0.989798 \pm 0.07578	0.0000	446.786606 \pm 62.71005	0.0000
	Fieldor Max	1.028811 \pm 0.232631	0.0000	0.974426 \pm 0.076965	0.0000	606.940737 \pm 77.485834	0.0000
	Vegetop	1.20148 \pm 0.256456	0.0000	0.999441 \pm 0.074299	0.0000	359.426358 \pm 42.735355	0.0000
	Mousse de Lin	1.244201 \pm 0.339842	0.0004	0.942037 \pm 0.083325	0.0000	522.265562 \pm 65.488316	0.0000

Tabel III: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie paramater Weibull model voor de verschillende testpopulaties behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof, berekend op basis van de bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling (Exp. 1a)

Plantenpopulatie	Hulpstof	Modelparameters					
		b		d		e	
		gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	-	0.137521 \pm 0.048648	0.0059	585.931147 \pm 61.276433	0.0000	1.068541 \pm 2.433187	0.6617
	Fieldor Max	0.211332 \pm 0.050412	0.0001	585.508403 \pm 61.26823	0.0000	10.036363 \pm 10.352319	0.3351
	Vegetop	0.266428 \pm 0.05302	0.0000	584.748782 \pm 61.260386	0.0000	26.526069 \pm 18.215105	0.1490
	Mousse de Lin	0.405203 \pm 0.05989	0.0000	579.580154 \pm 61.166981	0.0000	78.801239 \pm 29.184183	0.0084
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	-	0.20916 \pm 0.039754	0.0000	709.65624 \pm 34.846412	0.0000	5.75693 \pm 4.998131	0.2527
	Fieldor Max	0.28793 \pm 0.040236	0.0000	709.886019 \pm 34.860223	0.0000	23.899697 \pm 10.727098	0.0286
	Vegetop	0.311066 \pm 0.04088	0.0000	708.760587 \pm 34.876305	0.0000	47.296018 \pm 16.414504	0.0050
	Mousse de Lin	0.182964 \pm 0.039014	0.0000	709.957039 \pm 34.840114	0.0000	10.407072 \pm 9.015069	0.2516
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	-	3.05872 \pm 0.62673	0.0000	160.06384 \pm 31.29136	0.0000	572.3996 \pm 60.06433	0.0000
	Fieldor Max	2.30031 \pm 0.69614	0.0014	133.48256 \pm 27.65571	0.0000	594.68288 \pm 100.72686	0.0000
	Vegetop	1.13167 \pm 0.48389	0.0218	188.66867 \pm 50.31785	0.0003	499.57544 \pm 177.66433	0.0062
	Mousse de Lin	1.2448 \pm 0.52173	0.0194	184.47935 \pm 48.64797	0.0003	517.87452 \pm 169.70879	0.0031
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	-	0.72577 \pm 0.11717	0.0000	378.89426 \pm 66.77202	0.0000	135.06158 \pm 42.1259	0.0019
	Fieldor Max	0.76518 \pm 0.11064	0.0000	389.59672 \pm 66.73426	0.0000	133.3525 \pm 36.87097	0.0005
	Vegetop	0.87301 \pm 0.10988	0.0000	399.62568 \pm 66.73645	0.0000	140.09569 \pm 31.80391	0.0000
	Mousse de Lin	0.87094 \pm 0.11937	0.0000	399.84556 \pm 66.185	0.0000	171.75385 \pm 39.43447	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	-	0.46543 \pm 0.1965	0.0201	213.78414 \pm 22.84457	0.0000	184.17226 \pm 94.93932	0.0557
	Fieldor Max	0.72103 \pm 0.25464	0.0058	214.48199 \pm 22.72196	0.0000	209.82139 \pm 65.54515	0.0019
	Vegetop	0.78026 \pm 0.25137	0.0026	214.6845 \pm 22.68242	0.0000	241.69964 \pm 64.99576	0.0004
	Mousse de Lin	0.90261 \pm 0.28877	0.0024	213.94902 \pm 22.77752	0.0000	252.07732 \pm 60.01063	0.0001

Tabel IV: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie paramater Weibull model voor de verschillende testpopulaties behandeld met heet water met of zonder toevoeging van een hulpstof, berekend op basis van de bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling (Exp. 1b)

Plantenpopulatie	Hulpstof	Modelparameters					
		b		d		e	
		gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	-	0.64968 \pm 0.16893	0.0002	120.8799 \pm 7.25491	0.0000	1496.10555 \pm 332.00406	0.0000
	Fieldor Max	0.35522 \pm 0.13604	0.0107	120.97064 \pm 7.29016	0.0000	3225.89592 \pm 2075.87566	0.1239
	Vegetop	1.16338 \pm 0.26651	0.0000	118.43324 \pm 7.29431	0.0000	978.48827 \pm 89.5871	0.0000
	Mousse de Lin	1.05081 \pm 0.29116	0.0005	115.34956 \pm 8.11816	0.0000	962.21951 \pm 98.90001	0.0000
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	-	1.08595 \pm 0.49248	0.0302	123.25469 \pm 12.52665	0.0000	1144.15666 \pm 187.96267	0.0000
	Fieldor Max	1.86213 \pm 0.68954	0.0084	122.40584 \pm 9.24362	0.0000	1091.63 \pm 107.11608	0.0000
	Vegetop	1.3434 \pm 0.34199	0.0002	130.67926 \pm 9.7782	0.0000	886.59683 \pm 94.34584	0.0000
	Mousse de Lin	1.5338 \pm 0.52212	0.0043	119.79237 \pm 9.68208	0.0000	992.09471 \pm 109.3388	0.0000
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	-	2.44973 \pm 1.15504	0.0369	89.42709 \pm 8.55144	0.0000	846.4844 \pm 59.79869	0.0000
	Fieldor Max	3.13459 \pm 1.01789	0.0028	93.68812 \pm 5.90457	0.0000	946.6785 \pm 49.86132	0.0000
	Vegetop	1.07129 \pm 0.22527	0.0000	103.84667 \pm 8.05961	0.0000	570.08852 \pm 70.64437	0.0000
	Mousse de Lin	1.45597 \pm 0.4938	0.0041	96.24715 \pm 9.67235	0.0000	642.60217 \pm 75.87137	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	-	0.828051 \pm 0.119342	0.0000	189.692923 \pm 7.840987	0.0000	196.68931 \pm 21.816446	0.0000
	Fieldor Max	0.770091 \pm 0.094872	0.0000	187.578012 \pm 7.966661	0.0000	272.215728 \pm 29.29786	0.0000
	Vegetop	1.009383 \pm 0.130668	0.0000	189.058199 \pm 7.870129	0.0000	225.973203 \pm 20.044741	0.0000
	Mousse de Lin	0.959598 \pm 0.11305	0.0000	188.064853 \pm 7.927765	0.0000	257.938494 \pm 23.228591	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	-	0.40761 \pm 0.11887	0.0009	404.76483 \pm 88.48028	0.0000	57.94078 \pm 46.46899	0.2159
	Fieldor Max	0.38453 \pm 0.12304	0.0024	406.28385 \pm 88.60517	0.0000	65.58556 \pm 55.87857	0.2438
	Vegetop	0.74921 \pm 0.16149	0.0000	371.86086 \pm 87.5907	0.0001	141.4159 \pm 58.53493	0.0179
	Mousse de Lin	0.62188 \pm 0.16034	0.0002	377.16483 \pm 88.93627	0.0001	130.93356 \pm 68.73942	0.0602

Tabel V: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie paramater Weibull model voor de verschillende testpopulaties behandeld met heet water zonder toevoeging van een hulpstof, berekend op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling (Exp. 1)

Plantenpopulatie	Modelparameters					
	b		d		e	
	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
Experiment 1a						
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	0.439489 \pm 0.065208	0.0000	3.362441 \pm 0.124058	0.0000	473.481714 \pm 59.589007	0.0000
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	0.803162 \pm 0.099077	0.0000	2.775966 \pm 0.119462	0.0000	629.509336 \pm 55.680141	0.0000
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	1.556403 \pm 0.404485	0.0002	1.560467 \pm 0.131836	0.0000	514.226725 \pm 54.425846	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	0.780623 \pm 0.218163	0.0005	1.715891 \pm 0.124136	0.0000	192.335376 \pm 39.759057	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	0.430046 \pm 0.120558	0.0005	2.174385 \pm 0.124734	0.0000	106.07894 \pm 44.342115	0.0185
Experiment 1b						
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	0.816024 \pm 0.22416	0.0004	1.784594 \pm 0.174319	0.0000	977.692462 \pm 159.548833	0.0000
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	0.426775 \pm 0.093641	0.0000	2.755859 \pm 0.223649	0.0000	441.877236 \pm 105.229865	0.0001
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	3.049281 \pm 0.710437	0.0000	1.213892 \pm 0.097066	0.0000	725.805497 \pm 39.361051	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	0.934451 \pm 0.180316	0.0000	0.823188 \pm 0.114417	0.0000	280.379897 \pm 57.619842	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	1.015079 \pm 0.221979	0.0000	0.977506 \pm 0.128498	0.0000	440.190749 \pm 82.078144	0.0000

Tabel VI: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie parameter Weibull model voor de verschillende testpopulaties behandeld met heet water zonder toevoeging van een hulpstof, berekend op basis van de bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling (Exp. 1)

Plantenpopulatie	Modelparameters					
	b		d		e	
	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
Experiment 1a						
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	0.137519 \pm 0.070506	0.0539	98.591567 \pm 14.929814	0.0000	1.068499 \pm 3.52654	0.7625
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	0.217971 \pm 0.069222	0.0022	99.413289 \pm 15.020282	0.0000	6.872023 \pm 10.167671	0.5007
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	3.058738 \pm 0.472751	0.0000	67.136497 \pm 9.899963	0.0000	572.401006 \pm 45.306557	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	0.725772 \pm 0.106303	0.0000	88.061518 \pm 14.080121	0.0000	135.061976 \pm 38.219906	0.0006
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	0.683264 \pm 0.140348	0.0000	88.588128 \pm 14.1013	0.0000	261.560234 \pm 79.48147	0.0014
Experiment 1b						
<i>L. perenne</i> 'Meloni'	0.71694 \pm 0.35414	0.0455	98.219 \pm 14.448	0.0000	1387.8 \pm 414.73	0.0011
<i>L. perenne</i> 'Plenty'	1.7048 \pm 0.77575	0.0302	87.125 \pm 11.149	0.0000	1085.5 \pm 111.26	0.0000
<i>F. rubra</i> 'Barcrown'	5.6327 \pm 0.6603	0.0000	75.563 \pm 5.6349	0.0000	847.56 \pm 27.856	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 1'	0.73221 \pm 0.093581	0.0000	102.15 \pm 14.202	0.0000	169.57 \pm 38.537	0.0000
<i>T. officinale</i> 'kloon 2'	0.40749 \pm 0.080215	0.0000	96.03 \pm 14.167	0.0000	57.89 \pm 31.345	0.0676

Tabel VII: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie paramater log-logistische model voor de verschillende populaties behandeld met heet water op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst), berekend op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling (Exp. 3a)

Plantenpopulatie	UNZ	Modelparameters					
		b		d		e	
		gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
<i>L. perenne</i>	2	1.84 \pm 0.310	0.0000	2.63 \pm 0.171	0.0000	431.69 \pm 49.698	0.0000
	4	1.41 \pm 0.282	0.0000	2.50 \pm 0.185	0.0000	464.10 \pm 73.333	0.0000
	6	0.98 \pm 0.250	0.0002	2.40 \pm 0.202	0.0000	414.75 \pm 101.302	0.0001
	8	1.97 \pm 0.467	0.0000	2.37 \pm 0.183	0.0000	466.56 \pm 63.093	0.0000
	10	2.04 \pm 0.369	0.0000	2.63 \pm 0.165	0.0000	437.30 \pm 45.287	0.0000
	12	1.59 \pm 0.307	0.0000	2.52 \pm 0.189	0.0000	278.21 \pm 41.178	0.0000
<i>T. officinale</i>	2	1.66 \pm 0.445	0.0003	1.49 \pm 0.144	0.0000	416.71 \pm 82.185	0.0000
	4	2.52 \pm 0.579	0.0000	1.61 \pm 0.120	0.0000	349.64 \pm 39.171	0.0000
	6	0.67 \pm 0.276	0.0163	1.53 \pm 0.142	0.0000	87.02 \pm 62.845	0.1686
	8	8.13 \pm 4.961	0.1038	1.45 \pm 0.100	0.0000	394.02 \pm 23.901	0.0000
	10	3.77 \pm 1.188	0.0019	1.65 \pm 0.104	0.0000	391.72 \pm 28.890	0.0000
	12	2.27 \pm 0.454	0.0000	1.71 \pm 0.122	0.0000	303.33 \pm 33.769	0.0000

Tabel VIII: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie paramater log-logistische model voor de verschillende populaties behandeld met heet water op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst), berekend op basis van de bovengrondse droge biomassa 14 dagen na behandeling (Exp. 3b)

Plantenpopulatie	UNZ	Modelparameters					
		b		d		e	
		gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
<i>L. perenne</i>	2	1.80 \pm 0.333	0.0000	2.35 \pm 0.133	0.0000	723.94 \pm 77.156	0.0000
	4	1.88 \pm 0.413	0.0000	2.19 \pm 0.140	0.0000	692.98 \pm 78.006	0.0000
	6	1.31 \pm 0.571	0.0237	2.00 \pm 0.192	0.0000	873.98 \pm 160.402	0.0000
	8	1.71 \pm 0.463	0.0003	2.02 \pm 0.169	0.0000	518.31 \pm 83.019	0.0000
	10	0.92 \pm 0.213	0.0000	2.13 \pm 0.164	0.0000	425.30 \pm 98.071	0.0000
	12	1.39 \pm 0.319	0.0000	2.10 \pm 0.161	0.0000	568.20 \pm 93.962	0.0000
<i>T. officinale</i>	2	1.93 \pm 0.526	0.0004	1.25 \pm 0.126	0.0000	371.33 \pm 68.743	0.0000
	4	1.02 \pm 0.346	0.0040	1.23 \pm 0.139	0.0000	245.89 \pm 95.604	0.0113
	6	2.28 \pm 0.504	0.0000	1.34 \pm 0.115	0.0000	347.86 \pm 47.990	0.0000
	8	1.90 \pm 0.548	0.0007	1.25 \pm 0.133	0.0000	196.94 \pm 41.643	0.0000
	10	2.82 \pm 0.860	0.0014	1.32 \pm 0.119	0.0000	266.77 \pm 34.312	0.0000
	12	2.18 \pm 0.568	0.0002	1.28 \pm 0.125	0.0000	262.90 \pm 42.967	0.0000

Tabel IX: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie paramater log-logistische model voor de verschillende populaties behandeld met heet water op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst), berekend op basis van de bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling (Exp. 3a)

Plantenpopulatie	UNZ	Modelparameters					
		b		d		e	
		gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
<i>L. perenne</i>	2	2.47 \pm 0.418	0.0000	289.84 \pm 16.553	0.0000	317.42 \pm 28.656	0.0000
	4	1.81 \pm 0.285	0.0000	286.13 \pm 17.832	0.0000	276.03 \pm 33.692	0.0000
	6	1.14 \pm 0.208	0.0000	284.25 \pm 18.366	0.0000	182.86 \pm 37.565	0.0000
	8	5.50 \pm 1.965	0.0060	247.62 \pm 13.238	0.0000	386.52 \pm 20.280	0.0000
	10	3.37 \pm 0.855	0.0001	281.70 \pm 16.005	0.0000	332.44 \pm 25.415	0.0000
	12	2.13 \pm 0.423	0.0000	287.37 \pm 18.026	0.0000	182.13 \pm 20.710	0.0000
<i>T. officinale</i>	2	1.74 \pm 0.335	0.0000	180.05 \pm 12.946	0.0000	358.56 \pm 52.932	0.0000
	4	3.03 \pm 0.664	0.0000	185.62 \pm 10.654	0.0000	351.88 \pm 28.041	0.0000
	6	1.13 \pm 0.238	0.0000	184.59 \pm 12.668	0.0000	139.15 \pm 36.064	0.0002
	8	26.07 \pm 89.558	0.7715	162.16 \pm 7.262	0.0000	420.50 \pm 68.939	0.0000
	10	7.25 \pm 2.150	0.0010	180.97 \pm 8.815	0.0000	383.35 \pm 17.803	0.0000
	12	2.51 \pm 0.474	0.0000	188.63 \pm 12.039	0.0000	233.36 \pm 23.519	0.0000

Tabel X: Modelparameters (\pm SE) met bijhorende *P*-waarden van het drie parameter log-logistische model voor de verschillende populaties behandeld met heet water op verschillende dagtijdstippen (UNZ: uren na zonsopkomst), berekend op basis van de bedekkingsgraad 7 dagen na behandeling (Exp. 3b)

Plantenpopulatie	UNZ	Modelparameters					
		b		d		e	
		gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde	gem \pm SE	<i>P</i> - waarde
<i>L. perenne</i>	2	1.75 \pm 0.253	0.0000	176.58 \pm 9.148	0.0000	451.77 \pm 44.106	0.0000
	4	1.86 \pm 0.249	0.0000	177.29 \pm 9.212	0.0000	403.60 \pm 38.762	0.0000
	6	1.42 \pm 0.208	0.0000	173.33 \pm 10.033	0.0000	314.79 \pm 42.397	0.0000
	8	2.04 \pm 0.324	0.0000	170.91 \pm 10.140	0.0000	308.41 \pm 34.708	0.0000
	10	1.57 \pm 0.237	0.0000	178.68 \pm 9.625	0.0000	223.70 \pm 25.534	0.0000
	12	1.68 \pm 0.228	0.0000	178.05 \pm 9.479	0.0000	304.56 \pm 32.115	0.0000
<i>T. officinale</i>	2	2.65 \pm 0.564	0.0000	164.98 \pm 10.259	0.0000	366.18 \pm 38.228	0.0000
	4	4.35 \pm 0.897	0.0000	175.60 \pm 7.620	0.0000	361.58 \pm 17.766	0.0000
	6	1.36 \pm 0.218	0.0000	173.83 \pm 10.211	0.0000	153.47 \pm 27.551	0.0000
	8	30.29 \pm 131.128	0.8177	160.62 \pm 5.805	0.0000	422.00 \pm 80.553	0.0000
	10	8.80 \pm 2.192	0.0001	175.81 \pm 7.061	0.0000	385.85 \pm 16.319	0.0000
	12	3.13 \pm 0.503	0.0000	177.69 \pm 9.496	0.0000	240.88 \pm 18.703	0.0000