

Entwicklung eines Standard-Prüfverfahrens für Geräte zur thermischen Unkrautbekämpfung

Development of a standard test procedure for devices on thermal weed control

Arnd Verschwele*, Detlef Stieg

Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Deutschland

*Korrespondierender Autor, arnd.verschwele@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.064

Zusammenfassung

Im Gegensatz zur umfangreichen Prüfung und Bewertung der Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln und der Prüfungen von Spritzgeräten für Pflanzenschutzmittel gibt es derartige objektive Tests für Geräte zur thermischen Unkrautbekämpfung derzeit noch nicht. Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, ein Standard-Prüfverfahren zur Bestimmung der Temperaturverteilung und Wirksamkeit thermischer Geräte zu entwickeln. Damit sollen Grundlagen für eine Qualitätsprüfung geschaffen werden, die praktische Anwender direkt nutzen können. Außerdem können die aufgezeigten Mängel dazu führen, die Geräte konstruktiv zu verbessern. Die Ergebnisse zu einem Abflamngerät (Green-Flame 850 E) zeigten bereits entsprechende Potenziale auf. Mit steigender Fahrgeschwindigkeit von 0,35 m/s auf 0,81 m/s sank die Temperatur von 159 °C auf 89 °C. Die Heterogenität der Temperaturen über die Arbeitsbreite des Geräts war außerordentlich hoch: In Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit lag die Spannbreite zwischen Minimal- und Maximaltemperatur zwischen 60 °C und 79 °C. Die biologische Wirksamkeit, geprüft an der Modellpflanze *Sinapis arvensis* war ebenfalls abhängig von der Fahrgeschwindigkeit bzw. den erreichten Temperaturen. Bei Geschwindigkeiten von bis zu 0,53 m/s konnte *Sinapis arvensis* mit mindestens 95 % ausreichend bekämpft werden. Bei der höchsten geprüften Fahrgeschwindigkeit von 0,81 m/s lag der Wirkungsgrad nur noch bei 66 %. Folglich liegt die notwendige wirksame Temperatur zwischen 89 °C und 106 °C. *Lolium perenne* ließ sich hingegen unter den geprüften Bedingungen nur mit 72 % bekämpfen - eine Dosis-Wirkungsbeziehung war hier nicht erkennbar. Die Temperaturverteilung, wie auch die biologische Wirksamkeit, waren insgesamt sehr heterogen und im Sinne eines wirtschaftlichen und wirkungssicheren Einsatzes nicht zufriedenstellend. Ähnliche Ergebnisse liegen auch für andere Geräte zur thermischen Unkrautbekämpfung vor.

Stichwörter: Konstruktion, Nichtkulturland, physikalische Unkrautbekämpfung, Wirksamkeit

Abstract

In contrast to the standard evaluation of the efficacy of pesticides and the testing of spraying equipment there are no comparable testing procedure for equipment of thermal weed control. It is the aim of the investigations described here to develop a standard procedure for assessing temperature distribution and biological efficacy. This will be the basis for quality testing which can be directly used by practical users. Also it can help engineers to improve devices if constructive gaps will be identified by these tests. The results from testing a flaming device (Green-Flame 850 E) demonstrated such a potential for technical improvement: The temperature decreased from 159 °C to 89 °C by increasing driving speed from 0.35 m/s to 0.81 m/s. The variation of the temperature related to the working width was extremely high: The range was 60 °C at highest speed and 79 °C at lowest speed, respectively. The biological efficacy against the test plant species *Sinapis arvensis* was also affected by the driving speed and the corresponding temperature. A driving speed not higher than 0.53 m/s resulted in efficacy rates of almost 95%. However, the efficacy was only 66% at the highest tested speed of 0.81 m/s. Thus, the needed effective temperature is between 89 °C und 106 °C. In contrast, *Lolium perenne* was controlled by only 72% under the tested conditions. Here a dose-response relationship was not observed. The variation of the temperature, as well as the biological efficacy, was extremely heterogeneous and not satisfying in terms of an economic and safe use. Similar results were found for other devices on thermal weed control.

Keywords: Efficacy, engineering, non-cropping area, physical weed control

Einleitung

Die Unkrautbekämpfung auf Wegen und Plätzen sowie anderen befestigten Flächen erfolgte in der Vergangenheit häufig mit Herbiziden. Aufgrund des hohen Risikos der Belastung von Grund- und Oberflächenwasser durch Abschwemmung sind die Anwendungen jedoch ständig restriktiver geworden. Für den Herbizideinsatz auf Wegen und Plätzen sind derzeit nur Herbizide mit den

Wirkstoffen Essigsäure, Flumioxazin, Pelargonsäure, Glufosinat und Glyphosat zugelassen. Nach dem Pflanzenschutzgesetz dürfen Pflanzenschutzmittel auf befestigten Freilandflächen grundsätzlich nur in begründeten Ausnahmen angewendet werden (Genehmigungsverfahren gemäß §12). Durch strengere Auflagen und weitere Anwendungsbestimmungen wird der Herbizideinsatz jedoch zumindest auf Flächen mit Abschwemmungsgefahr nahezu unmöglich. Hinzu kommen generelle Verbote auf Landesebene durch entsprechende Erlasse und der freiwillige Verzicht von Herbiziden auf Flächen einiger Kommunen und Städte.

Unabhängig davon nehmen Unkrautprobleme durch Resistenzgefahren und Wirkungslücken beim Einsatz der wenigen verbleibenden Wirkstoffe zu.

Die Risiken des chemischen Pflanzenschutzes und der daraus resultierende öffentliche Druck haben dazu geführt, dass Pflanzenschutzgeräte bereits weitgehend optimiert sind und weitere Einsparungen von Pflanzenschutzmitteln auf diesem Wege nur schwer zu realisieren sind. Für die nicht-chemisch arbeitenden Geräte, insbesondere solche mit thermischem Wirkprinzip, gilt dies nicht. Grundlegende biologische und physikalische Arbeiten sind zwar für Ackerbaukulturen durchgeführt worden (ASCARD, 1995; BERTRAM, 1996), entsprechende Daten fehlen aber für den Bereich Nichtkulturland. Entsprechende Versuche unter Praxisbedingungen (RASK und KRISTOFFERSON, 2007; VERSCHWELE, 2012) und Erfahrungen von Anwendern lassen vermuten, dass diese Geräte noch ein erhebliches Optimierungspotenzial aufweisen. Als weiteres Problem wurde erkannt, dass kaum unabhängige und belastbare Informationen über die reale Leistungsfähigkeit einzelner Geräte verfügbar sind. Dies führte zu der Überlegung ein objektives Prüfverfahren zu entwickeln, durch das objektive und vergleichbare Aussagen zur Qualität vorhandener Geräte möglich sind und das den Herstellern Hinweise zur Weiterentwicklung der Geräte geben kann. Man kann erwarten, dass ein solches Vorgehen einen signifikanten Innovationsschub auslösen wird.

Material und Methoden

Im Herbst 2013 wurde mit Planung und Bau eines Prüfstandsprototypen begonnen (Abb. 1). Ziel ist es, sowohl die Temperaturverteilung als auch die biologische Wirkung der Geräte zu testen. Hierbei erfolgt die Temperaturerfassung über die gesamte Zielfläche bzw. Arbeitsbreite. Somit sind Aussagen zur geräteabhängigen Variabilität und zur Beziehung zwischen den Parametern Temperaturhöhe, Temperaturdauer und Wirksamkeit möglich.

Zur Durchführung des Tests wird das entsprechende Gerät mit definierter, konstanter Geschwindigkeit auf einem Schiene-Schlitten-System (Abb. 1 und 2) über die Zielfläche (4) bewegt. Die Zielfläche ist ausgerüstet mit Thermoelementen (S), den Modellpflanzen (P) und wahlweise sogenannten Temperaturindikatoren (I). Diese Indikatoren, z.B. Kunststoffteile, können durch Verformung anzeigen, ob die erforderliche Temperaturen erreicht werden (Ergebnisse hier nicht dargestellt). Thermoelemente und Modellpflanzen liegen in Arbeitsrichtung fluchtend, wodurch eine direkte Korrelation zwischen gemessener Temperatur und Verhalten der weiteren Zielobjekte erwartet werden kann. Die Temperaturen werden zeitgleich in einem Intervall von 0,08 s erfasst, wodurch auch eine zeitliche Differenzierung der wirksamen Temperaturen möglich ist. Zur Verfeinerung des Messrasters kann das Gerät auf dem Schlitten - quer zur Arbeitsrichtung - verschoben werden. Bei einem physischen Messraster von 20 cm wird für die Prüfungen somit eine Messauflösung von 10 cm generiert. Die Geräte wurden mit abgestuften Fahrgeschwindigkeiten von 0,35 m/s; 0,42 m/s; 0,53 m/s und 0,81 m/s über die Prüfbahn gezogen. Der Antrieb erfolgt über eine elektrisch betriebene Seilwinde (5), wobei die Geschwindigkeiten mittels Lichtschranken (3) gemessen wurden. Jede Überfahrt wurde dreifach wiederholt.

Durch die Erfassung des zeitabhängigen Temperaturverlaufs besteht auch die Möglichkeit die Effekte von Temperaturmaximum und Einwirkdauer zu analysieren. Die Sensoren (Mantelthermoelemente, D = 1 mm, Typ K) sind versenkt angeordnet, sodass sich die Spitzen der Thermoelemente im Zentrum von 50 mm-Bohrungen auf Höhe der Bodenoberfläche befinden. Diese Einbaulage dient einerseits dem mechanischen Schutz der Sensoren und ermöglicht zudem

eine Aussage darüber, wie sensibel das geprüfte Gerät auf Abschattung der Zielpflanzen reagiert, etwa durch unebene Bodenplatten oder andere Pflanzen.

Als Modellpflanzen wurden die dikotyle Pflanzenart Weißer Senf (*Sinapis alba*) und das monokotyle Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*) gewählt, die zu den Entwicklungsstadien BBCH 12-14 und BBCH 16-18 behandelt wurden. Im Gegensatz zu natürlich vorkommenden Unkrautarten weisen diese Kulturpflanzenarten eine homogenere Wuchsform und Entwicklung auf und sind somit besser für eine Standardprüfung geeignet. In Abhängigkeit von Pflanzenart und Entwicklungsstadium sind unterschiedliche Empfindlichkeiten bzw. Wirkungsgrade zu erwarten. Beide Pflanzenarten und Entwicklungsstadien wurden simultan, d.h. während einer Überfahrt getestet.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Statgraphics Centurion XV (© StatPoint Technologie Inc., USA).

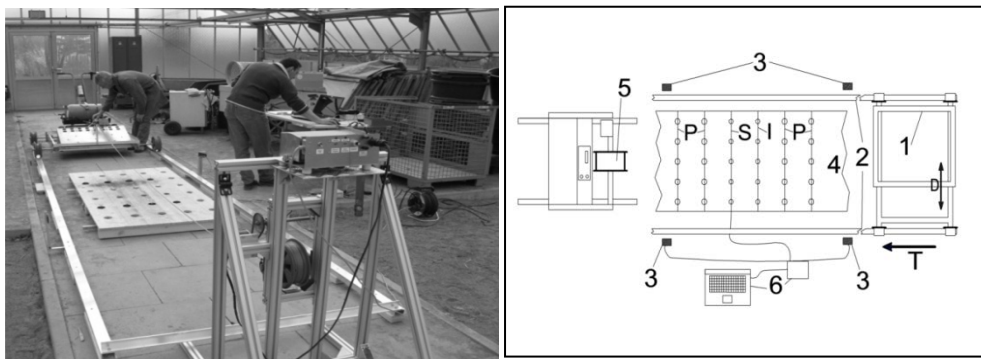


Abb. 1 Aufbau des Prototyps für einen Geräteprüfstand (Erklärung siehe Text).

Fig. 1 Prototype of standard testing equipment (see text for further explanation).

Ergebnisse

Nachfolgend werden beispielhaft die Ergebnisse für das Abflammgerät Green-Flame 850 E (Fa. Nesbo A/S, DK-9550 Mariager, Dänemark) beschrieben und diskutiert. Wie zu erwarten, nahmen die Temperaturen mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit ab: Von durchschnittlich 159 °C bei 0,35 m/s sank sie auf nur 89 °C bei 0,81 m/s (Abb. 2). Die für eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung notwendige Mindesttemperatur von ca. 60 °C (BERTRAM, 1996) wird in diesem Fall nicht mehr zuverlässig über die gesamte Arbeitsbreite erreicht. Eine hohe Variabilität wies auch die Temperaturverteilung über die Arbeitsbreite des Abflammgeräts auf (Abb. 3). Nach außen fällt die Temperatur deutlich ab, wobei diese Abnahme in Fahrtrichtung rechts stärker war als in Fahrtrichtung links. Der Geräteaufbau ließ eine solche asymmetrische Temperaturverteilung nicht erwarten. Tendenziell nimmt aber die Temperatur an allen Geräte-Positionen in ähnlicher Weise ab, wenn die Fahrgeschwindigkeit zunimmt.

Insgesamt zeigten die Versuche, dass die gerätebedingte Variabilität der Temperatur sehr hoch war. Die Standardabweichung nahm jedoch nicht mit steigender Geschwindigkeit ab (Tab. 1). Bei hoher Geschwindigkeit (0,81 m/s) betragen die Spannweiten 40 °C (60 bis 100 °C) während sie bei der geringsten Geschwindigkeit (0,35 m/s) 75 °C betrug (110 °C bis 185 °C).

In Bezug auf die Frischmasse der Modellunkräuter bzw. der Wirksamkeit zeigte sich ein ähnliches Bild. Allerdings wurde *Lolium perenne* bei keiner der Varianten sicher bekämpft. Im Durchschnitt lag der Wirkungsgrad bei nur 72 %. Für *Lolium perenne* reichten selbst Temperaturen von über 180 °C nicht zur vollständigen Abtötung aus, unabhängig vom Entwicklungsstadium der Testpflanze. Die Wirkungsgrade zeigten eine Spannweite von 58 % bis 92 %, eine Dosis-Wirkungsbeziehung

war innerhalb der geprüften Fahrgeschwindigkeiten bzw. Temperaturen nicht erkennbar. Im Gegensatz dazu konnte *Sinapis arvensis* mit Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 0,53 m/s sicher, d.h. mit Wirkungsgraden von mindestens 95 % bekämpft werden. Bei 0,81 m/s lag der Wirkungsgrad im Mittel nur noch bei 66 % und an den Randbereichen des Abflammgeräts deutlich darunter (Tab. 1). Daraus lässt sich ableiten, dass die notwendige, wirksame Temperatur zwischen 89 °C und 106 °C liegt, zumindest für thermisch sensitive Pflanzenarten wie *Sinapis arvensis*.

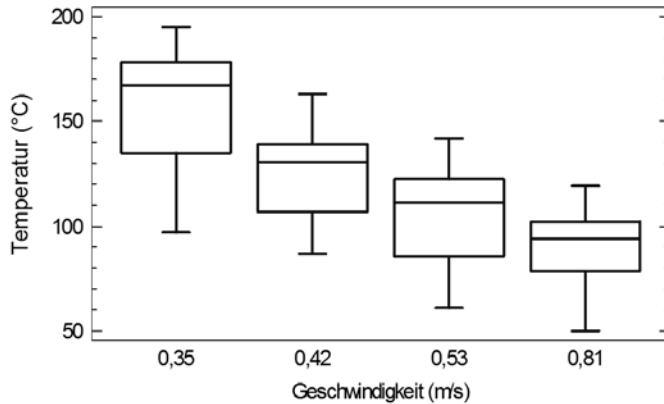


Abb. 2 Temperatur (°C) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (n=24).

Fig. 2 Effect of driving speed on temperature (°C) (n=24).

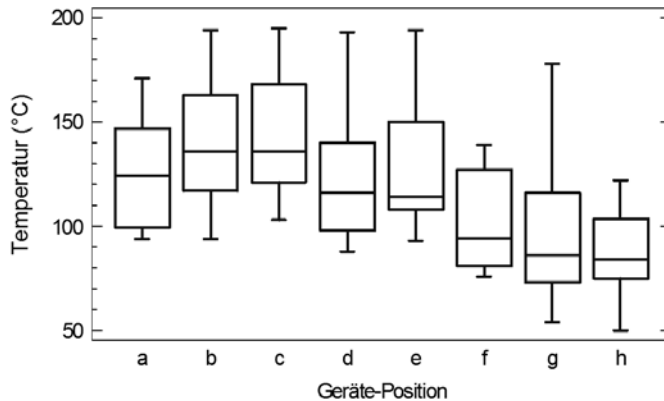


Abb. 3 Temperatur (°C) in Abhängigkeit von der Geräteposition (n=24).

Fig. 3 Effect of position of device on temperature (°C) (n=24).

Die zeitliche Variabilität der Temperaturen wurde mit 3 Überfahrten ermittelt. Somit liegen für jede der acht Gerätepositionen und für alle vier Geschwindigkeiten jeweils drei Temperaturwerte vor (siehe Tabelle 1: Standardabweichung der Temperatur). Besonders bei der geringsten Fahrgeschwindigkeit (0,35 m/s) traten hohe Unterschiede von mehr als 40 °C (= 24 %) an einigen Gerätepositionen auf. Die relativen Abweichungen betragen bei 0,53 m/s und 0,81 m/s maximal 12 % bzw. 19 %. Die zeitliche Variabilität war dabei in den Außenbereichen nicht höher als im Zentrum des Abflammgeräts.

Tab. 1 Einfluss von Fahrgeschwindigkeit und Geräte-Position auf Temperatur und Wirkungsgrad.**Tab. 1** Effect on driving speed and position on temperature and efficiency.

Geschwindigkeit (m/s)	Geräte-Position								Ø
	a	b	c	d	e	f	g	h	
Temperatur (°C) Mittelwert									
	a	b	c	d	e	f	g	h	Ø
0,35	165	173	185	180	170	133	153	110	159
0,42	135	141	154	129	143	112	93	99	126
0,53	111	122	131	118	119	87	89	70	106
0,81	94	99	109	100	99	79	60	69	89
Ø	126	134	145	132	133	103	99	87	120
Temperatur (°C) Standardabweichung									
	a	b	c	d	e	f	g	h	Ø
0,35	6,6	16,4	7,1	9,5	18,3	4,0	26,5	10,2	27,8
0,42	2,4	13,1	12,7	9,8	9,9	13,6	4,1	13,8	23,3
0,53	5,3	4,1	7,9	5,4	8,8	6,7	7,6	6,6	20,9
0,81	0,5	3,6	6,9	3,6	6,3	2,4	9,0	13,4	17,6
Ø	27,1	29,2	29,4	30,6	28,9	22,7	36,7	21,1	34,5
Wirkung gegen <i>Sinapis alba</i> (%)									
	a	b	c	d	e	f	g	h	Ø
0,35	100	100	100	100	100	83	95	100	97
0,42	100	100	100	92	100	100	100	100	99
0,53	89	89	90	96	100	100	96	100	95
0,81	55	69	57	64	82	78	75	50	66
Ø	86	89	87	88	95	90	91	88	89
Wirkung gegen <i>Lolium perenne</i> (%)									
	a	b	c	d	e	f	g	h	Ø
0,35	64	75	67	81	74	80	73	77	74
0,42	73	92	74	76	67	72	70	65	74
0,53	71	77	67	73	78	80	74	85	76
0,81	60	75	58	67	64	74	62	68	66
Ø	67	80	66	74	71	76	70	74	72

Diskussion

Am Beispiel eines handgeführten Abflamngeräts konnte gezeigt werden, dass derartige Geräte grundsätzlich nach einem standardisierten Protokoll in einem Prüfstand getestet und bewertet werden können. Das Verfahren erwies sich als geeignet, sowohl die Temperaturverteilung als auch Wirkungsgrade für ausgewählte Modellpflanzen reproduzierbar zu erfassen. Allerdings zeigten die biologischen Kenngrößen (Frisch-Sprossmasse, Vitalität der Modellpflanzen) eine höhere Streuung als die physikalischen Parameter. Dies zeigte sich schon bei den unbehandelten Kontrollpflanzen.

Nach den derzeitigen Erkenntnissen und Erfahrungen erfüllen Aufbau und Messmethodik des Prüfverfahrens die Voraussetzungen für Standardtests. Erste Erfahrungen liegen nicht nur für das beschriebene Abflamngerät, sondern auch für ein Heißluftgerät und ein Heißwassergerät vor. Allerdings stellte sich heraus, dass für die Verfahren auf Heißwasser- und Heißschaumbasis noch technische Anpassungen am Prüfstand erforderlich sind. Eine abschließende und umfassende Geräte-Bewertung in Bezug auf Temperaturverteilung und Wirkungssicherheit kann daher erst erfolgen, wenn belastbare Vergleichswerte anderer Geräte vorliegen. Unabhängig von dieser Validierung des Prüfverfahrens ist aber bereits deutlich geworden, dass Angaben einiger Hersteller zu erreichbaren Temperaturen und Fahrgeschwindigkeiten nicht vollständig bestätigt werden konnten. Um Energie-Effizienz und biologische Wirkung zu verbessern, ist es dringend erforderlich, die zeitliche und räumliche Heterogenität der Temperaturen zu verringern. Hier zeigten die Untersuchungen weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur konstruktiven Optimierung derartiger Geräte.

Das Prüfverfahren wird im Julius Kühn-Institut weiterentwickelt, so dass mittelfristig Bewertungen von anderen Geräten zur thermischen Unkrautbekämpfung vorliegen werden.

Danksagung

Die Autoren danken Martina Kracht und Werner Löhr für die hervorragende technische Unterstützung der Untersuchungen.

Literatur

- ASCARD, J., 1995: Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. *Weed Research* **35**, 397–411.
- BERTRAM, A., 1996: Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der thermischen Unkrautbekämpfung. Dissertation, Technische Universität München, Weihenstephan.
- RASK, A.M. und P. KRISTOFFERSEN, 2007: A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Research* **47**, 370–380.
- VERSCHWELE, A., 2012: Unkräuter auf Wegen und Plätzen und ihre Bekämpfung. 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 13.-15. März 2012, Braunschweig, *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 273-280.