

## **Projekt „Ausstieg Glyphosat“ – Untersuchung und Bewertung von Verfahren zur Vegetationskontrolle für den geplanten Einsatz im Gleisbereich**

*Project "Exit Glyphosate" - Investigation and evaluation of methods for vegetation control for the planned use in the track area*

Ulrike Sölter<sup>1\*</sup>, Arnd Verschwele<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

\*ulrike.soelter@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220124-080136

### **Zusammenfassung**

Die Gleisanlagen der Deutschen Bahn (DB) müssen aus Gründen der Betriebs- und Verkehrssicherheit von Aufwuchs freigehalten werden. Aktuell werden hierzu mangels verfügbarer Alternativen ausschließlich Herbizide im Rahmen der chemischen Vegetationskontrolle eingesetzt. Die Diskussionen um den Herbizideinsatz auf Gleisanlagen sowie zunehmende Auflagen bei der Ausbringung, beispielsweise die Beschränkung auf einzelne Wirkstoffe oder Anwendungsverbote in einzelnen Streckenabschnitten, haben die DB bereits in der Vergangenheit dazu veranlasst, zahlreiche Verfahren der nicht-chemischen Vegetationskontrolle zu untersuchen. Im Jahre 2016 hat die DB beim Internationalen Eisenbahnverband (UIC) ein Projekt initiiert, um den aktuellen Stand und neue Möglichkeiten der Vegetationskontrolle für den Gleisbereich bei allen Mitgliedsbahnen ermitteln und neu bewerten zu lassen. Im Ergebnis konnten die Verfahren „*electro-weeding*“ (Unkrautbekämpfung mit elektrischem Strom) und „Heißwasser“ als potenziell geeignet ermittelt werden. In einem gestuften Verfahren unter den besonderen Bedingungen des Gleisbereichs werden diese Verfahren auf ihre Wirksamkeit in einem dreijährigen Projekt (2020-2023) untersucht. Auf Modellflächen auf dem Gelände des Julius Kühn-Institutes und realen Gleisanlagen werden die jeweiligen Verfahren durch Dienstleistungsfirmen angewandt. Das Julius Kühn-Institut stellt im Auftrag der DB die Modellflächen bereit, begleitet die Behandlungen, dokumentiert den Behandlungserfolg und wertet diesen aus. Bei positivem Ergebnis sollen die beiden genannten Verfahren zukünftig als ein Baustein im Sinne einer integrierten Vegetationskontrolle im Gleisbereich angewendet werden. Ergebnisse des 1. Versuchsjahres zeigten im Vergleich zur Heißwasserbehandlung einen höheren Wirkungsgrad bei der *electro-weeding*-Behandlung.

**Stichwörter:** Elektrizität, Gleisanlagen, Heißwasser, nicht-chemische Vegetationskontrolle

### **Abstract**

The track systems of German Railways (*Deutsche Bahn*, DB) must be kept free of vegetation for reasons of operational and traffic safety. Due to the lack of available alternatives, herbicides are currently used exclusively for chemical vegetation control. The discussions about use of herbicides on track systems and increasing requirements for application, for example the restriction to individual active ingredients or application bans in individual sections of the route, have already prompted DB to investigate numerous methods of non-chemical vegetation control in the past. In 2016, DB initiated a project at the International Union of Railway Companies (UIC) to determine and re-evaluate the current status and new possibilities of vegetation control for the track area of all member railway companies. As a result, the methods “*electro weeding*” (weed control with electricity) and “hot water” were identified as potentially suitable. In a stepped procedure under the special conditions of the track area, these procedures are examined for their effectiveness in a 3 year project (2020-2023). The respective processes are applied by service providers on model areas on the site of the Julius Kühn-Institute and real track systems. The Julius Kühn-Institute

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online provides the model areas on behalf of DB, accompanies the treatments, documents the success of treatments and evaluates it. If the result is positive, the two methods mentioned are to be used in the future as a component in the sense of an integrated vegetation control in the track area. Results from the first year of the experiment showed a higher degree of effectiveness in *electro weeding* treatment than hot water treatment.

**Keywords:** electricity, hot water, non-chemical vegetation control, track systems

## Einleitung

### *Electro weeding*

Die Bekämpfung von Unkräutern durch Stromschlag wurde schon früh entdeckt (SHARP, 1892; BAKER, 1949) und befindet sich seit den 1970er Jahren in der Entwicklung (DIPROSE und BENSON, 1984, BOND et al., 2003). Das Prinzip wurde von früheren und aktuellen elektrothermischen Unkrautbekämpfungsgeräten wie dem Lasco LW5 Lightning Weeder (Lasco) oder dem Zasso Electroherb (Zasso, Indaiatuba, Brasilien) angewendet. Nach wie vor ist das Verfahren, im Vergleich zur Herbizidapplikation, durch eine niedrige Betriebsgeschwindigkeit und hohen Energieverbrauch, kostenintensiver (NOLTE et al., 2018). Die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet erstrecken sich bislang vorrangig auf den Einsatz in der biologischen Landwirtschaft und in der kommunalen Anwendung auf Wegen und Plätzen, vorrangig mit handgeführten Geräten.

### *Heißwasser*

Das Prinzip der thermischen Unkrautbekämpfung besteht darin, dass Temperaturen über 60°C zu einer Denaturierung der Nukleinsäuren in der Pflanzenzelle führen. Die Einwirkung verursacht eine irreversible Schädigung des Pflanzengewebes und führt zum Absterben. Wird der Vegetationspunkt nicht getroffen, kann die Pflanze wieder austreiben, weitere Anwendungen sind dann nötig (3-5 pro Jahr). Faktoren wie Unkrautentwicklungsstadium, Expositionszeit, Tröpfchengröße, Netzmittel, Wassertemperatur, Variation der thermischen Empfindlichkeit am Tag und Wasserfluss haben einen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Heißwasserbehandlung (HANSSON und MATTSSON, 2002; DE CAUWER et al., 2015). Darüber hinaus können Umweltfaktoren wie Lufttemperatur, Trockenheit und Niederschläge die Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung mit Heißwasser beeinflussen (HANSSON und MATTSSON, 2003). Eine negative exponentielle Beziehung zwischen letaler Temperatur und Expositionszeit wurde allgemein berichtet (SUTCLIFFE, 1977; LEVITT, 1980; HANSSON und ASCARD, 2002). Auch stellten die Autoren HANSSON und ASCARD (2002) fest, dass die Unkrautbekämpfung mit heißem Wasser ein Potenzial für städtische harte Oberflächen und Bahndämme, insbesondere dort, wo der Einsatz von Herbiziden eingeschränkt ist, hat.

## Material und Methoden

### *Beschreibung des eingesetzten electro weeding-Systems*

Das von Bayer eingesetzte *electro-weeding*-System „RootWave™ Pro“ behandelt Unkraut, indem, mithilfe von Hochspannung, elektrischer Strom durch das Unkraut geleitet wird (Abb. 1.)



**Abbildung 1** Das RootWave TM Pro System mit Lanze.

**Figure 1** The RootWave TM Pro system with lance.

Das Gerät funktioniert mit Wechselstrom. Der Strom fließt durch die Elektrode der Behandlungslanze (Arbeitsbreite von 20 cm) den Pflanzenstiel herunter in die Wurzeln und durch den Boden zurück zur Bezugs Elektrode. Der Stromfluss verursacht einen schnellen Temperaturanstieg, der sowohl die ober- als auch die unterirdische Zellstruktur des Unkrauts schädigt. Infolgedessen vertrocknen die Pflanzen und sterben ab. Da eine Pflanze in möglichst kurzer Zeit behandelt werden soll, ist eine hohe Spannung nötig. Die Spannung wird vom Bediener ausgewählt und kann auf 3.000, 4.000 oder 5.000 Volt eingestellt werden. Das System ist für einen Betrieb unter 1 Ampere ausgelegt. Es kann jedoch für kurze Zeiträume bis unter 1,5 Ampere betrieben werden, wenn die Umgebung einen besonders geringen Widerstand aufweist (Tab. 1).

**Tabelle 1** Überblick zu Spannung, Stromstärke und Leistung des RootWave TM Pro Systems

**Table 1** Overview of voltage, current and power of the RootWave TM Pro system

Spannung [Kilovolt]	Stromstärke [Ampere]	Leistung [Kilowatt]
5	< 1,0	< 5
4	< 0,8	< 3
3	< 0,6	< 2

### **Beschreibung des eingesetzten Heißwassersystems**

Die Behandlungen wurden mit dem GEYSIR®-Heißwassersystem durchgeführt. Die Warmwasserausrüstung besteht aus einer stationären Heizvorrichtung und einem handgeschobenen Heißwasserapplikator. Dieser Applikator hat eine Arbeitsbreite von 85 cm. Die Düsen sind in zwei Düsensträngen angeordnet, wobei ein Strang 8 und ein anderer Strang 9 Düsen hat. Die Düsen haben einen Abstand von 10 cm zueinander (Abb. 2).



**Abbildung 2** Heißwassergerät auf der Gleisfläche und von der Unterseite.

**Figure 2** Hot water device on the track area and from the underside.

Die beiden Düsenstränge haben einen Abstand von 14 cm. Der Durchmesser der Austrittsöffnung der Düsen beträgt 0,9 mm. Während der Applikation befinden sich die Düsen ca. 8 cm über der Oberfläche des Bodens. Der Wasserverbrauch beträgt 7 l/min. Die Wassertemperatur kann nur im Heizkessel gemessen werden und hatte bei den Versuchen eine Temperatur von 105-110°C. Die Prüfvarianten unterschieden sich durch unterschiedliche Geschwindigkeiten und damit im ausgebrachten Wasservolumen pro m<sup>2</sup> behandelte Fläche. Die Geschwindigkeiten können nicht am Gerät eingestellt, sondern müssen über die vorher genau geübte Schrittgeschwindigkeit des Dienstleisters eingehalten werden.

### **Modellversuche electro weeding und Heißwasser**

Für die Modellversuche auf dem Gelände des JKI wurden jeweils 6 Betonrahmenparzellen (je 1 m x 10 m) mit Gleisbettmaterial (Korngröße 32-63 mm) und mit Randwegmaterial (Korngröße 0-16 mm) gefüllt (Tiefe ca. 20-30 cm). In den Modellversuchen sollte mit dem *electro-weeding*-Verfahren der Wirkungsgrad bei einer frühen (4-6 Laubblätter entfaltet) und einer späten Behandlung (20 % des arttypischen maximalen Längen- bzw. Rosettenwachstums bis maximale Länge bzw. maximaler Durchmesser erreicht) untersucht werden. Beim Heißwasserverfahren sollte eine einmalige und eine zweimalige Behandlung durchgeführt werden. Eine Übersicht der Behandlungs- und Erntetermine des 1. Versuchsjahres sind in Tabelle 2 zu finden. Es wurden je 4 Varianten für die Behandlungen und entsprechende unbehandelte Kontrollen angelegt:

#### *electro-weeding*-Varianten

- Gleisbett mit einer frühen Behandlung (4-6 Laubblätter entfaltet)
- Gleisbett mit einer späten Behandlung (8 Laubblätter entfaltet bis 9 oder mehr Bestockungstriebe)
- Randweg mit einer frühen Behandlung (4-6 Laubblätter entfaltet)
- Randweg mit einer späten Behandlung (8 Laubblätter entfaltet bis 9 oder mehr Bestockungstriebe)
- Unbehandelte Kontrolle im Gleisbett mit einem frühen Wachstumsstadium (4-6 Laubblätter entfaltet zum Zeitpunkt der Behandlungen)
- Unbehandelte Kontrolle im Gleisbett mit einem späten Wachstumsstadium (8 Laubblätter entfaltet bis 9 oder mehr Bestockungstriebe)
- Unbehandelte Kontrolle im Randweg mit einem frühen Wachstumsstadium (4-6 Laubblätter entfaltet zum Zeitpunkt der Behandlungen)
- Unbehandelte Kontrolle im Randweg mit einem späten Wachstumsstadium (8 Laubblätter entfaltet bis 9 oder mehr Bestockungstriebe)

#### Heißwasservarianten

- Gleisbett mit einer Behandlung zum Zeitpunkt 4-6 Laubblätter entfaltet

- Gleisbett mit zwei Behandlungen, 1. Behandlung zum Zeitpunkt 4-6 Laubblätter entfaltet, 2. Behandlung 21 Tage später
- Randweg mit einer Behandlung zum Zeitpunkt 4-6 Laubblätter entfaltet
- Randweg mit zwei Behandlungen, 1. Behandlung zum Zeitpunkt 4-6 Laubblätter entfaltet, 2. Behandlung 21 Tage später
- Unbehandelte Kontrolle im Gleisbett mit einem frühen Wachstumsstadium (4-6 Laubblätter entfaltet zum Zeitpunkt der Behandlungen)
- Unbehandelte Kontrolle im Randweg mit einem frühen Wachstumsstadium (4-6 Laubblätter entfaltet zum Zeitpunkt der Behandlungen)

Zur Prüfung wurden von den 15 als am häufigste sowohl im Gleisbett als auch im Randweg vorkommend beschriebenen Unkrautarten (EGGERS et al., 2001) 4 Pflanzenarten ausgewählt. Die Auswahlkriterien waren dabei eine problemlose Samenbeschaffung, eine gute Keimfähigkeit und eine einfache Etablierung der Pflanzen.

Ausgewählte Pflanzenarten:

- Echtes Johanniskraut (*Hypericum perforatum*)
- Löwenzahn (*Taraxacum officinale*)
- Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*)
- Rotschwingel (*Festuca rubra*)

Im Frühjahr 2020 wurden die Samen in Aussaatschalen zum Keimen gebracht und im 2-Blatt-Stadium in Kokosquelltöpfe (ca. 4 cm Höhe und 4 cm Durchmesser) pikiert. Die Auspflanzung der 4 Arten erfolgte eine Woche vor der ersten Behandlung mit den beiden Verfahren, für die Variante „*electro weeding* spät“ 3 Wochen später (Tab. 2). Bei Bedarf konnte bewässert werden. Auch ein Schutz aus Netzen musste nach einigen Wochen gespannt werden, da Krähen die Pflanzen aus dem Gleisbettmaterial zogen. Jede der Betonrahmenparzellen stellte eine Variante dar, in die die Zielpflanzen eingepflanzt wurden. Auf Grund der beschränkten Fläche, konnten keine echten Wiederholungen angelegt werden. Jede der 4 geprüften Arten wurde 12 Mal in einem randomisierten Platzsystem eingepflanzt, welches aber für alle Varianten beibehalten wurde. Die 12 Pflanzen einer Art wurden als einzelne Wiederholungen pro Variante angesehen.

**Tabelle 2** Daten der Bepflanzung, Behandlungen und Ernte der Modellflächen

**Table 2** Data on planting, treatments and harvesting of the model areas

Variante	Auspflanzung	Behandlung (BBCH Stadium)	Ernte der Frischmasse
<i>electro-weeding</i> früh	07.07.2020	16.07.2020 (13-24)	27.08.2020
<i>electro-weeding</i> spät	29.07.2020	07.08.2020 (18-29)	27.08.2020
Heißwasser eine Behandlung	07.07.2020	14.07.2020 (13-24)	28.08.2020
Heißwasser zwei Behandlungen	07.07.2020	14.07. (13-24) und 04.08.2020	28.08.2020

Bei der Behandlung *electro weeding* wurde die Lanze 5 Sekunden lang mit 5 KV Spannung an jede einzelne Pflanze der entsprechenden Variante gehalten. Bei der Behandlung mit Heißwasser betrug die Geschwindigkeit bei der Überfahrt immer 1,1 km/h, die pro m<sup>2</sup> ausgebrachte Heißwassermenge somit 0,45 Liter. Die Temperatur im Tank wurde mit 105-110 °C gemessen. Mit einer Wärmebildkamera der Firma FLIR® (Modell FLIR T4) konnte die Temperatur an den Pflanzenoberflächen erfasst werden, bei der Heißwasserbehandlung technisch bedingt erst 1-3 Sekunden nach der Überfahrt. Die erreichte durchschnittliche Temperatur an der Oberfläche betrug im Gleisbett 46,1°C und im Randweg 52,4°C. Beim *electro-weeding*-Verfahren war dies nicht möglich, da die stärkste Hitzeentwicklung an der Pflanze zu kurz ist, um die erreichte Temperatur mit der Kamera zu erfassen. Zur Bestimmung des Wirkungsgrades wurden

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online  
 alle Parzellen 3 Wochen nach der letzten Behandlung (d. h. *electro-weeding* spätes Wachstumsstadium, Heißwasser 2. Behandlung) bzw. 6 Wochen nach der 1. Behandlung (d. h. *electro-weeding* frühes Wachstumsstadium, Heißwasser eine Behandlung) geerntet. Die oberirdische Frischmasse jeder einzelnen Pflanze wurde an der Bodenoberfläche abgeschnitten und gewogen.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Bestimmung der oberirdischen Frischmasse erfolgte 3 Wochen nach Applikation. In Relation zu der unbehandelten Kontrolle wurde der Wirkungsgrad nach ABBOTT (1925) bestimmt. Sowohl im Gleisbett als auch im Randweg hatten die Varianten *electro-weeding* früh und *electro weeding* spät einen höheren Wirkungsgrad (Tab. 3) als Heißwasser einmal und zweimal. Der Grund für die bessere Wirkung der *electro-weeding* Variante könnte an der höheren Energiezufuhr an der Pflanze und somit ihrer Schädigung liegen. Dies wird in den Versuchsjahren 2021 und 2022 zu prüfen sein.

**Tabelle 3** Mittlerer Wirkungsgrad [%] als Relation zur Frischmasse der unbehandelten Kontrolle, der einzelnen Arten im Gleisbett

**Table 3** Mean efficiency [%] as fresh matter in relation to the untreated control, of the individual species in the track bed

Variante	Echtes Johanniskraut ( <i>H. perforatum</i> ) n=12 (Min-Max)	Löwenzahn ( <i>T. officinale</i> ) n=12 (Min-Max)	Glatthafer ( <i>A. elatius</i> ) n=12 (Min-Max)	Rotschwengel ( <i>F. rubra</i> ) n=12 (Min-Max)
electro weeding früh	95 (82-100)	90 (73-100)	98 (87-100)	92 (0-100)
electro weeding spät	99 (93-100)	100 (-)	97 (88-100)	97 (86-100)
Heißwasser einmal	77 (45-100)	80 (46-100)	90 (65-100)	84 (17-100)
Heißwasser zweimal	59 (7-100)	65 (34-100)	68 (0-100)	85 (46-100)

Des Weiteren war die Bekämpfung im Randweg erfolgreicher als im Gleisbett (Tab. 4), was sich am höheren Wirkungsgrad aller Varianten zeigte. Sowohl im Gleisbett als auch im Randweg hatten die Varianten *electro weeding* früh und *electro weeding* spät einen höheren Wirkungsgrad als Heißwasser einmal und zweimal. Auch war die Bekämpfung im Randweg erfolgreicher als im Gleisbett, was sich am höheren Wirkungsgrad aller Varianten zeigte. BOHREN et al (2020) stellten in ihren Untersuchungen mit einem Heißwasserspritzfahrzeug auf Gleisen fest, dass sich vor allem Einjährige zweikeimblättrige und Einjährige einkeimblättrige Unkräuter in einem frühen Stadium reduzieren lassen, was sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit deckt.

**Tabelle 4** Mittlerer Wirkungsgrad [%] als Relation zur Frischmasse der unbehandelten Kontrolle, der einzelnen Arten im Randweg

**Table 4** Mean efficiency [%] as fresh matter in relation to the untreated control, of the individual species in the edge way

Variante	Echtes Johanniskraut ( <i>H. perforatum</i> ) n=12 (Min-Max)	Löwenzahn ( <i>T. officinale</i> ) n=12 (Min-Max)	Glatthafer ( <i>A. elatius</i> ) n=12 (Min-Max)	Rotschwengel ( <i>F. rubra</i> ) n=12 (Min-Max)
electro weeding früh	100 (-)	100 (-)	100 (-)	99 (83-100)
electro weeding spät	100 (-)	100 (-)	100 (-)	97 (63-100)
Heißwasser einmal	92 (82-100)	83 (57-94)	89 (67-100)	93 (71-100)
Heißwasser zweimal	94 (86-100)	86 (77-91)	88 (77-98)	97 (96-100)

## Literatur

- ABBOTT, W.S., 1925: A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18** (2), 265-267.
- BAKER, G.M., 1949: United States Patent Office, electrical weed killer Patent US No 2.484.443.
- BOHREN, C., G. ADOLPH, L. TANNER, 2020: Wirkungsvergleich Heißwasser und Herbizid – Schweizer Bahnen wollen ab 2025 weitgehend auf Herbizideinsatz verzichten. 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, JK Archiv **464**, 420-426.
- BOND, W., R.J. TURNER, A.C. GRUNDY, 2003: A review of non-chemical weed management. HDRA, the Organic Organisation, Ryton Organic Gardens, Coventry, UK, 81  
[https://www.gardenorganic.org.uk/sites/www.gardenorganic.org.uk/files/updated\\_review\\_0.pdf](https://www.gardenorganic.org.uk/sites/www.gardenorganic.org.uk/files/updated_review_0.pdf)  
Accessed 19 October 2020.
- DE CAUWER, B., S. BOGAERT, S. CLAERHOUT, R. BULCKE, D. REHEUL, 2015: Efficacy and reduced fuel use for hot water weed control on pavements. *Weed Res.* **55**, 195–205.
- DIPROSE, M.F., F.A. BENSON, 1984: Electrical methods of killing plant. *Journal of Agricultural Engineering Research* **30**, 197-209.
- EGGERS, T., P. ZWARGER, D. ADERHOLD, 2001: Bewuchsentwicklung und Bildung typischer Pflanzenbestände auf Gleisanlagen, *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **53** (4), S. 91-97, ISSN 0027-7479. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- HANSSON, D., J. ASCARD, 2002: Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Research* **42**, 307– 316.
- HANSSON, D., J.E. MATTSSON, 2002: Effect of drop size, water flow, wetting agent and water temperature on hot-water weed control. *Crop. Prot.* **21**, 773–781.
- HANSSON, D., J.E. MATTSSON, 2003: Effect of air temperature, rain and drought on hot water weed control. *Weed Res.* **43**, 245–251.
- LEVITT, J., 1980: Responses of plants to environmental stresses. Vol. I: Chilling, freezing, and high temperature stresses, 2nd edn. New York: Academic Press.
- MEIER, U., 2001: Entwicklungsstadien mono- und dikotylter Pflanzen. BBCH Monografie. Quedlinburg 2018. Open Agrar Repository.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

NOLTE, R., S. BEHRENDT, M. MAGRO, K. PIETRAS-COUFFIGNAL, 2018: HERBIE - Guidelines, State of the Art and Integrated Assessment of Weed Control and Management for Rail-ways. Assessment and Recommendations.

SHARP, A.A., 1892: Vegetation-exterator, Patent US492635 A.

SUTCLIFFE, J., 1977: Plants and temperature. London: Edward Arnold.