Heisswasser-Applikation, eine effektive Methode zur Vegetationskontrolle im Gleisbereich

Aurélie Gfeller[1], Frédéric Tschuy[1], Lukas Tanner[2], Gunter Adolph[2], Judith Wirth[1]
[1]Agroscope, Forschungsgruppe Herbologie Ackerbau, 1260 Nyon, Schweiz
[2]SBB AG/Infrastruktur – Sicherheit, Qualität, Umwelt, Hilfikerstrasse 3, 3000 Bern 65, Schweiz

Auskünfte: Judith Wirth, judith.wirth@agroscope.admin.ch

https://doi.org/10.34776/afs14-76 Publikationsdatum: 15. Mai 2023

Abb. 1 | Prototyp des von der SBB entwickelten Heisswasser-Spritzzuges. (Foto: SBB)

Zusammenfassung

Für die Vegetationskontrolle im Gleisbereich der SBB werden nicht-chemische Alternativen zu Glyphosat gesucht. Über einen Zeitraum von drei Jahren (2019 bis 2021) wurde ein von der SBB entwickelter Heisswasser-Spritzzug auf verschiedenen Gleisabschnitten im Rangierbahnhof Basel-Muttenz getestet. Dabei wurden die vorhandenen Pflanzen im Gleisbereich mit heissem Wasser (circa 90 °C, 10 l/m²) ein bis dreimal pro Vegetationsperiode besprüht. Durch Vegetationsaufnahmen vor und nach den Heisswasserbehandlungen, wurde die Wirksamkeit dieser Bekämpfungsmassnahme auf das Pflanzenwachstum beurteilt. Die Effizienz der einzelnen Heisswasserbehandlungen variierte zwischen 74 und 100 %. Im Vergleich zu einem unbehandelten Kontrollgleis, konnte die Pflanzendichte nach Abschluss der Behandlungen Ende September 2021 auf den behandelten Abschnitten bis zu 98 % reduziert werden. Insgesamt wurden 63 verschiedene Pflanzenarten im Gleisbereich bonitiert, von denen 23 Arten am Ende des Sommers noch teilweise vorhanden waren. Einjährige Pflanzen in jungen Wachstumsstadien wurden am zuverlässigsten abgetötet. Mehrjährige und stark entwickelte Pflanzen, sowie Tiefwurzler sind schwieriger zu bekämpfen und benötigen wiederholte Heisswasserbehandlungen. Um diese Methode im Schienennetz der SBB einsetzen zu können, müsste die Entwicklung des Spitzzuges weiter optimiert und abgeschlossen werden.

Key words: vegetation control on railway tracks, hot water weed control, alternatives to glyphosate.

Einleitung

Zur Vegetationskontrolle auf Gleisanlagen verwendet die SBB seit Mitte der 1990er Jahre Glyphosat (Bohren *et al.*, 2020). Das Herbizid wird von Hand mit tragbaren Spritzgeräten ein- bis zweimal pro Jahr ausgebracht. Die Kontrolle der Vegetation im Gleisbereich ist aus Sicherheitsaspekten und zur Sicherstellung der Langlebigkeit der Bahnanlagen wichtig. Da Glyphosat in der Kritik steht und eventuell in Zukunft nicht mehr zur Verfügung steht, werden Alternativen zur Vegetationskontrolle gesucht. Ziel der SBB ist es, bis 2025 die Vegetation im Gleisbereich ohne Herbizide zu kontrollieren. Eine Möglichkeit, die in Erwägung gezogen wird, ist die Behandlung der Pflanzen mit Heisswasser (HW). Es ist bekannt, dass HW erfolgreich viele einjährige Pflanzen kontrollieren und das Wachstum mehrjähriger Pflanzen einschränken kann (Peerzada und Chauhan, 2018). Je heisser das Wasser, desto schneller kann ein Effekt erzielt werden (Melander *et al.*, 2017). Studien haben gezeigt, dass einjährige und junge mehrjährige Pflanzen mit HW ähnlich effektiv wie mit Glyphosat kontrolliert werden können (Peerzada und Chauhan, 2018).

Durch die HW-Behandlung werden die Zellstrukturen der Pflanze zerstört. Dabei hängt der Erfolg der HW-Behandlung von folgenden Faktoren ab: Wachstumsstadium der Pflanze, Einwirkdauer, Tropfengrösse, Netzmittel, Wassertemperatur, unterschiedliche Temperaturempfindlichkeit je nach Tageszeit sowie Umwelteinflüsse wie Lufttemperatur, Trockenperioden und Regen (Peerzada und Chauhan, 2018). Von der SBB wurde der Prototyp eines Heisswasserspritzzuges entwickelt, der seit 2019 auf verschiedenen Streckenabschnitten in der Schweiz getestet wurde. Agroscope wurde mit der Aufgabe betraut, die Wirkung der HW-Behandlungen auf die Vegetation im Gleis zu beurteilen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden keine Energie- oder Kostenberechnungen durchgeführt. Ziel des folgenden Artikels ist es, die Beobachtungen der verschiedenen Anwendungsverfahren mit dem Heisswasserspritzzug aus den Jahren 2020 und 2021 zu beschreiben und diskutieren.

Material und Methoden

Versuchsplan

Es gab vier Versuchsvarianten auf vier verschiedenen Gleisen am Rangierbahnhof Basel-Muttenz (Tab.1). Alle Gleise stehen seit 2019 unter Beobachtung.

Die Behandlungen erfolgten gemäss der Versuchsplanung der SBB. Die Versuchsdurchführung musste flexibel an die Gleisbelegung angepasst werden, wodurch nicht alle Versuchsfelder immer ideal behandelt werden konnten. Die HW-Behandlungen wurden in den meisten Fällen mit einer Aufwandmenge von 10 l/m² durchgeführt. Die HW4-Behandlung im April 2021 wurde mit 6 l/m² Wasser durchgeführt. Die HW5-Behandlung auf Gleis 11 im Juni 2021 erfolgte mit 4 bis 10 l/m². Die Wassertemperatur bei Düsenaustritt betrug 89 bis 95 °C. Die Wassertemperatur bei Auftreffen auf die Pflanzen betrug circa 87 °C. Die Fahrgeschwindigkeit lag zwischen 10 und 15 km/h. Ausführliche technische Details zum Spritzzug (Abb. 1) findet man in Bohren *et al.* (2020).

Um die Wirkungen der HW-Behandlung auf das Wachstum der Vegetation zu beurteilen, wurden 2020 und 2021 jeweils vor und nach den HW-Behandlungen botanische Erhebungen durchgeführt (Abb. 2). Die Boniturен erfolgten, ohne zu wissen wo welche Behandlung durchgeführt wurde, um zu vermeiden voreingenommen zu sein. Im ersten Jahr erfolgten die Erhebungen T1 bis T6 zwischen dem 28.04.2020 und dem 05.10.2020. Im zweiten Jahr erfolgten die Erhebungen T7 bis T11 zwischen dem 16.04.2021 und dem 20.09.2021.

Botanische Aufnahmen

Vor und nach jeder HW-Behandlung wurde eine Bonitur der vorhandenen Pflanzen auf den Randwegen neben den Gleisen durchgeführt (Abb. 3). Basierend auf den im April 2020 (T1) vorhandenen Pflanzen wurden auf den Randwegen links von den Gleisen jeweils drei zehn Meter lange Abschnitte ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass möglichst viele verschiedene Pflanzenarten vorhanden waren. Zusätzlich wurden in jedem 10-Meter-Abschnitt drei Zählrahmen (0,25 m²) positioniert (9 Rahmen pro Gleis) und die Stellen markiert.

Tab. 1 | Versuchsvarianten für die HW-Behandlungen in den drei Versuchsjahren 2019 bis 2021.

Gleis	2019			2020			2021		
4	Unbehandelt (Kontrolle)			Glyphosat			Unbehandelt (Kontrolle)		
11	Glyphosat			Unbehandelt (Kontrolle)			HW4	HW5	HW6
5	HW	HW	HW	HW1	HW2	HW3		HW5	
10	HW	HW	HW	HW1	HW2	HW3		HW5	HW6

HW 1 = 30.04.2020, HW 2 = 18.06.2020, HW 3 = 22.09.2020, HW 4 = 26.04.2021, HW 5 = 11.06.2021, HW 6 = 31.08.2021.

Gleis 4 unbehandelt 2019, eine Glyphosat-Behandlung Ende Mai 2020, unbehandelt 2021.
Gleis 11 eine Glyphosat-Behandlung 2019, unbehandelt 2020, drei HW-Behandlungen 2021
Gleis 5 drei HW-Behandlungen 2019 und 2020, eine HW-Behandlung 2021
Gleis 10 drei HW-Behandlungen 2019 und 2020, zwei HW-Behandlungen 2021.

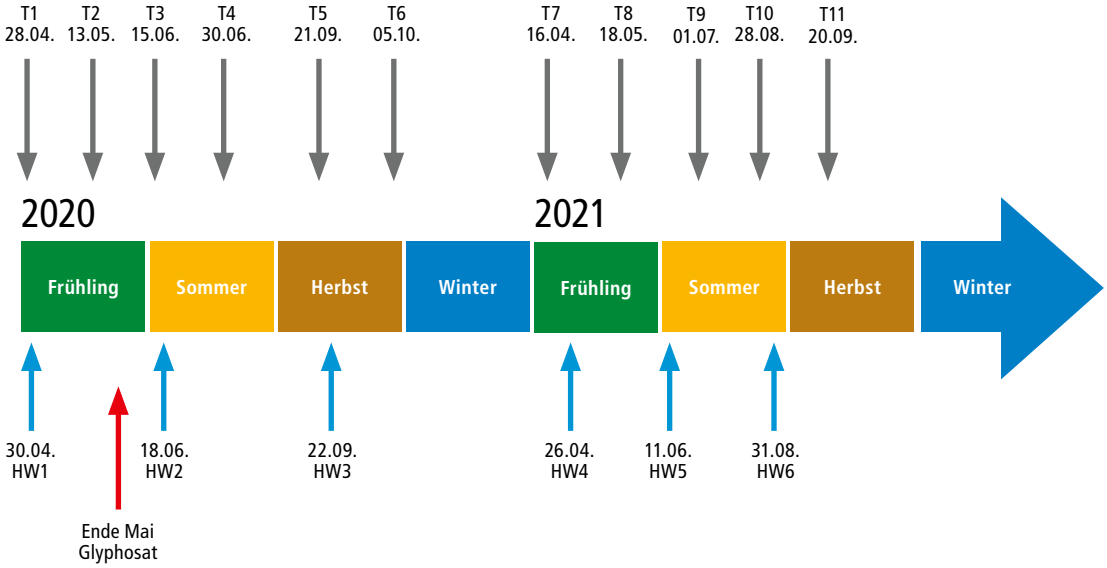


Abb. 2 | Zusammenfassung der Versuche zur HW-Behandlung in Muttenz 2020 und 2021.
T1 bis T11 = Daten der Bonituren, HW1 bis HW6 = Daten der HW-Behandlungen.

Dadurch konnten während der ganzen Vegetationsperiode immer an den gleichen Orten innerhalb der Rahmen alle vorhandenen Pflanzen gezählt und bestimmt werden.
Um die Aussagekraft zu verbessern, wurden im Frühjahr 2021 zusätzlich zwei weitere 10 Meter lange Gleisabschnitte ausgewählt und entsprechend sechs weitere Zählrahmen positioniert und markiert (15 Rahmen pro Gleis). Die ausgewählten Gleisabschnitte von 2020 wurden beibehalten.

Für jeden Zählrahmen wurden bei jeder Bonitur folgende Daten erhoben:

- Anzahl grössere Pflanzen, d.h. ab drei Blätter (Pflanzen/0,25 m²) und Bestimmung der jeweiligen Art.
- Visuelle Schätzung der Bodenbedeckung (%) durch grüne lebende Pflanzen (grüne Bodenbedeckung [%]).
- Anzahl Pflanzen im Keimlingsstadium, d.h. ein oder zwei Blätter (Keimlinge/0,25 m²), Unterscheidung zwischen Mono- und Dicotyledonen.
- Jeweils ein Foto.

Berechnung der Wirksamkeit der HW-Behandlungen

Die Berechnung der Wirksamkeit der HW-Behandlungen erfolgte nach dem gleichen Prinzip wie die Berechnung der Wirksamkeit von Herbiziden. Die am häufigsten verwendete Formel zur Bewertung eines Herbizids (Henderson-Tilton-Formel) berücksichtigt die Entwicklung der Flora einer unbehandelten Kontrollfläche.

Henderson-Tilton-Formel:
Wirkung % = (1- (Anzahl Pflanzen Kontrolle vor der Behandlung * Anzahl Pflanzen im behandelten Abschnitt nach der Behandlung / Anzahl Pflanzen Kontrolle nach der Behandlung * Anzahl Pflanzen im behandelten Abschnitt vor der Behandlung) *100
Die errechnete Wirkung kann anschliessend mit unterschiedlichen Klassen von 1 bis 9 (sehr gut bis keine Wirkung) beurteilt werden (Tab. 2).
Es kann sein, dass die Flora einer unbehandelten Parzelle aufgrund der klimatischen Bedingungen auf die gleiche Weise abnimmt wie die Flora der behandelten

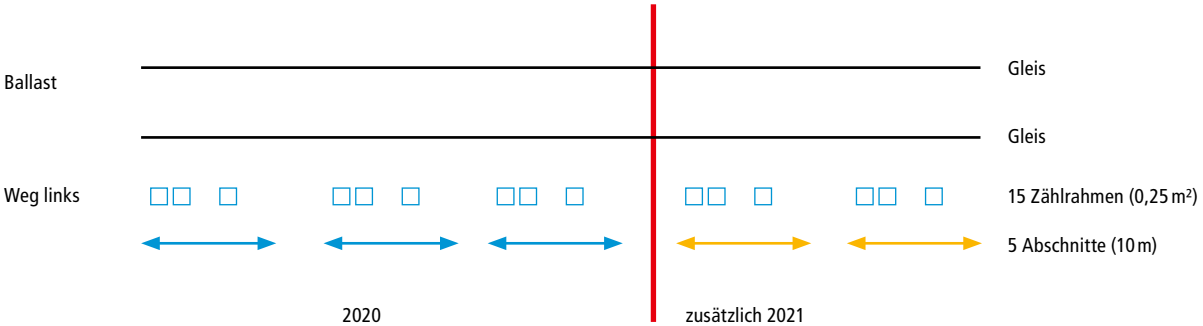


Abb. 3 | Darstellung der Vorgehensweise bei den botanischen Erhebungen auf dem Randweg neben den Gleisen.

Tab. 2 | Klasseneinteilung und Beurteilung je nach Wirkung (%).

Klasse	Wirkung (%)	Beurteilung
1	100	sehr gut
2	98–99,9	sehr gut
3	95–97,9	gut bis sehr gut
4	90–94,9	gut
5	82–89,9	akzeptabel
6	70–81,9	mittelmässig
7	55–69,9	schlecht
8	30–54,9	sehr schlecht
9	0–29,9	keine Wirkung

Parzelle. Es ist auch möglich, dass die Flora nach der HW-Behandlung spontan stark zunimmt, ohne dass eine mit der Behandlung zusammenhängende Ursache vorliegt, was die Wirkung der Behandlung überdecken würde.

Resultate

Wirksamkeit der Heisswasserbehandlungen

Die Effizienz der einzelnen HW-Behandlungen variierte zwischen 74,1 % und 99,6 % (Tab. 3), und kann somit von mittelmässiger bis sehr guter Wirkung eingestuft werden (nach Tabelle 2). Am erfolgreichsten (>98 %) waren die HW2-Behandlung auf Gleis 10 (98,5 %), die HW5-Behandlung auf Gleis 5 (99,6 %) und die HW6-Behandlung auf Gleis 11 (98,2 %). Für die HW4-Behandlung auf Gleis 11 wurden aus technischen Gründen nur 6 l/m² verwendet, die Wirksamkeit betrug 74,1 %. Hierbei ist es schwer zu beurteilen, ob dieser Unterschied durch die geringere Menge des angewendeten Heisswassers verursacht wurde.

Unbehandelte Kontrolle

Nach einer einmaligen Glyphosatbehandlung im Mai 2020, nahm der Pflanzenbestand auf der unbehandelten Kontrolle Gleis 4 im Jahr 2021 zu. Die Anzahl grösserer Pflanzen Ende September 2021 betrug durchschnittlich 169 Pflanzen/0,25 m². Anfang Juli 2021 war der Bewuchs mit durchschnittlich 26 Pflanzen/0,25 m² am geringsten (Abb. 4A). Betreffend der grünen Bodenbedeckung variierten die Werte zwischen 9 % (T8, 18.05.) und 36 % (T10, 27.08.) (Abb. 5A). Am Ende der Vegetationsperiode (T11, 20.09.) waren viele Keimlinge (>136/0,25 m²) vorhanden (Abb. 6A). Auf Gleis 4 im Jahr 2021 konnte man beobachten, wie der Pflanzenbewuchs im Laufe des Sommers zunächst zurückging, sich aber zum Ende der Vegetationsperiode relativ stark entwickelte. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Vegetation auf den Gleisen ohne Kontrollmassnahmen kontinuierlich zunimmt. Auf den Fotos (Abb. 7) sieht man beispielhaft wie sich die Vegetation ohne Kontrollmassnahmen innerhalb eines Sommers entwickelt.

Ein Jahr HW-Behandlung

Gleis 11 wurde 2020 nicht behandelt und diente als Kontrolle. Man sieht auch hier wie der Pflanzenbestand über das Jahr zunahm. 2021 war die erste HW-Behandlung (HW4, 26.04.) mittelmässig erfolgreich (Wirkungsgrad 74 %) und reduzierte die Anzahl grösserer Pflanzen von 102 Pflanzen/0,25 m² auf neun Pflanzen/0,25 m². Am Ende des Sommers, nach der sehr erfolgreichen HW6-Behandlung (Wirkungsgrad 98 %) waren im Schnitt noch vier Pflanzen/0,25 m² vorhanden, was einer Reduktion um 98 % zur unbehandelten Kontrolle auf Gleis 4 entspricht. HW5 wurde nicht korrekt durchgeführt und wurde daher nicht bewertet (Abb. 4B). Die Bodenbedeckung betrug Ende August 23 % und wurde durch die HW6 erfolgreich auf 1 % reduziert (Abb. 5B). Ende September waren auf Gleis 11 nur sehr wenige Keimlinge (4/0,25 m²) zu beobachten (Abb. 6B). Abbildung 8 zeigt exemplarisch einen Beobachtungsrahmen auf Gleis 11 im Verlauf des Sommers 2021.

Drei Jahre HW-Behandlungen

Gleis 5 und 10 wurden drei Jahre lang mit HW behandelt. Ende 2020 war die Pflanzendichte/0,25 m² auf beiden Gleisen nach drei HW-Behandlungen mit durchschnittlich nur einer Pflanze/0,25 m² sehr gering (Abb. 4C und 4D). Ausserdem konnten Ende September 2020 auf beiden Gleisen keine grüne Bodenbedeckung sowie keine Keimlinge beobachtet werden (Abb. 5 und 6, jeweils C und D).

2021 erfolgte auf Gleis 5 nur eine HW-Behandlung Mitte Juni mit einer sehr guten Wirkung (Wirkungsgrad 99 %) (Abb. 9). Pflanzendichte, grüne Bodenbedeckung und Anzahl Keimlinge betrugen anschliessend 0 (Abb. 4, 5 und 6 C). Bis Ende September (T11) nahm die Anzahl

Tab. 3 | Wirkungsgrade der einzelnen HW-Behandlungen in den Jahren 2020 und 2021.

Gleis	2020			2021		
	HW1 10 l/m²	HW2 5–10 l/m²	HW3 5–10 l/m²	HW4 6 l/m²	HW5 4–10 l/m²	HW6 10 l/m²
11	unbehandelt	unbehandelt	unbehandelt	74,1	**	98,2
5	97,2	82,7	77,2	unbehandelt	99,6	unbehandelt
10	80,5	98,5	96,2	unbehandelt	91,4	89,6

Die Wirkungsgrade beziehen sich auf die Anzahl Pflanzen/0,25 m² und wurden mit der Henderson-Tilton-Formel berechnet. ** technisches Problem bei der Behandlung, nicht evaluiert.

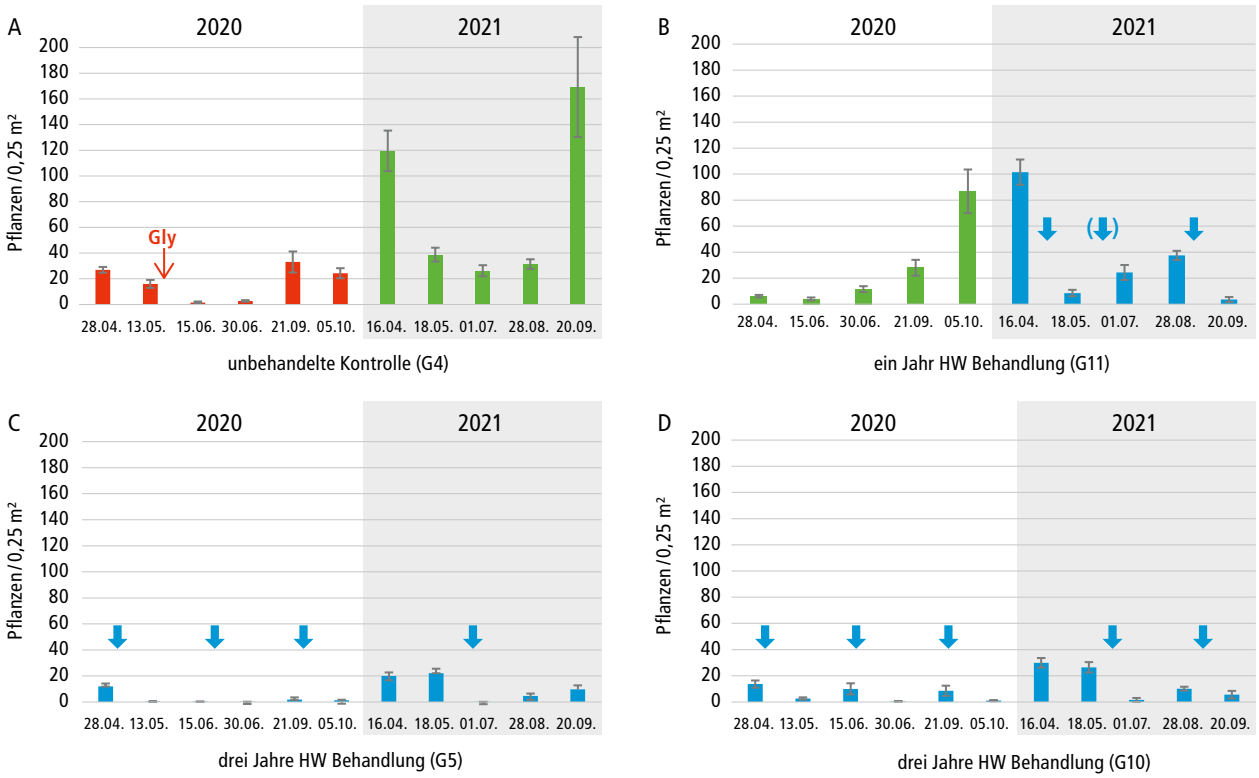


Abb.4 | Anzahl der vorhandenen grösseren Pflanzen (Pflanzen / 0,25 m²) neben den Gleisen in Muttenz 2020 und 2021.

Die Erhebungen erfolgten in den Zählrahmen (2020: N = 9, 2021: N = 15) an den unterschiedlichen Boniturdaten: T1 = 28.04.2020, T2 = 13.05.2020, T3 = 15.06.2020, T4 = 30.06.2020, T5 = 21.09.2020, T6 = 05.10.2020, T7 = 16.04.2021, T8 = 18.05.2021, T9 = 01.07.2021, T10 = 28.08.2021, T11 = 20.09.2021. **A** Gleis 4 (G4): einmalige Glyphosatbehandlung im Mai 2020, unbehandelte Kontrolle 2021. **B** Gleis 11 (G11): unbehandelte Kontrolle 2020, drei HW-Behandlungen 2021. **C** Gleis 5 (G5): drei HW-Behandlungen 2019 und 2020, eine HW-Behandlung 2021. **D** Gleis 10 (G10): drei HW-Behandlungen 2019 und 2020, zwei HW-Behandlungen 2021. ⬇ = HW-Behandlungen.

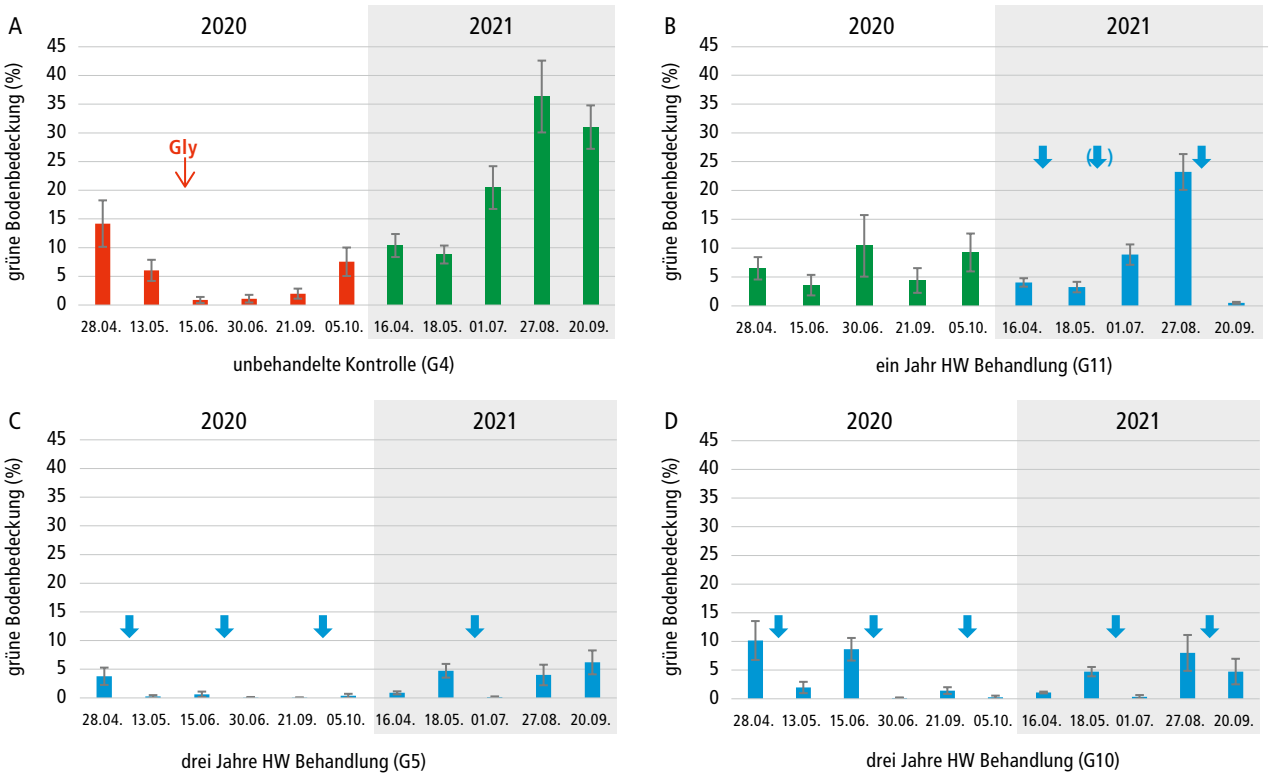


Abb.5 | Geschätzte Bodenbedeckung mit lebenden (grünen) Pflanzen in Prozent neben den Gleisen in Muttenz 2020 und 2021.

Die Erhebungen erfolgten in den Zählrahmen (2020: N = 9, 2021: N = 15) an den unterschiedlichen Boniturdaten: T1 = 28.04.2020, T2 = 13.05.2020, T3 = 15.06.2020, T4 = 30.06.2020, T5 = 21.09.2020, T6 = 05.10.2020, T7 = 16.04.2021, T8 = 18.05.2021, T9 = 01.07.2021, T10 = 28.08.2021, T11 = 20.09.2021. **A** Gleis 4 (G4): einmalige Glyphosatbehandlung im Mai 2020, unbehandelte Kontrolle 2021. **B** Gleis 11 (G11): unbehandelte Kontrolle 2020, drei HW Behandlungen 2021. **C** Gleis 5 (G5): drei HW-Behandlungen 2019 und 2020, eine HW-Behandlung 2021. **D** Gleis 10 (G10): drei HW-Behandlungen 2019 und 2020, zwei HW-Behandlungen 2021. = ⬇ HW-Behandlungen.

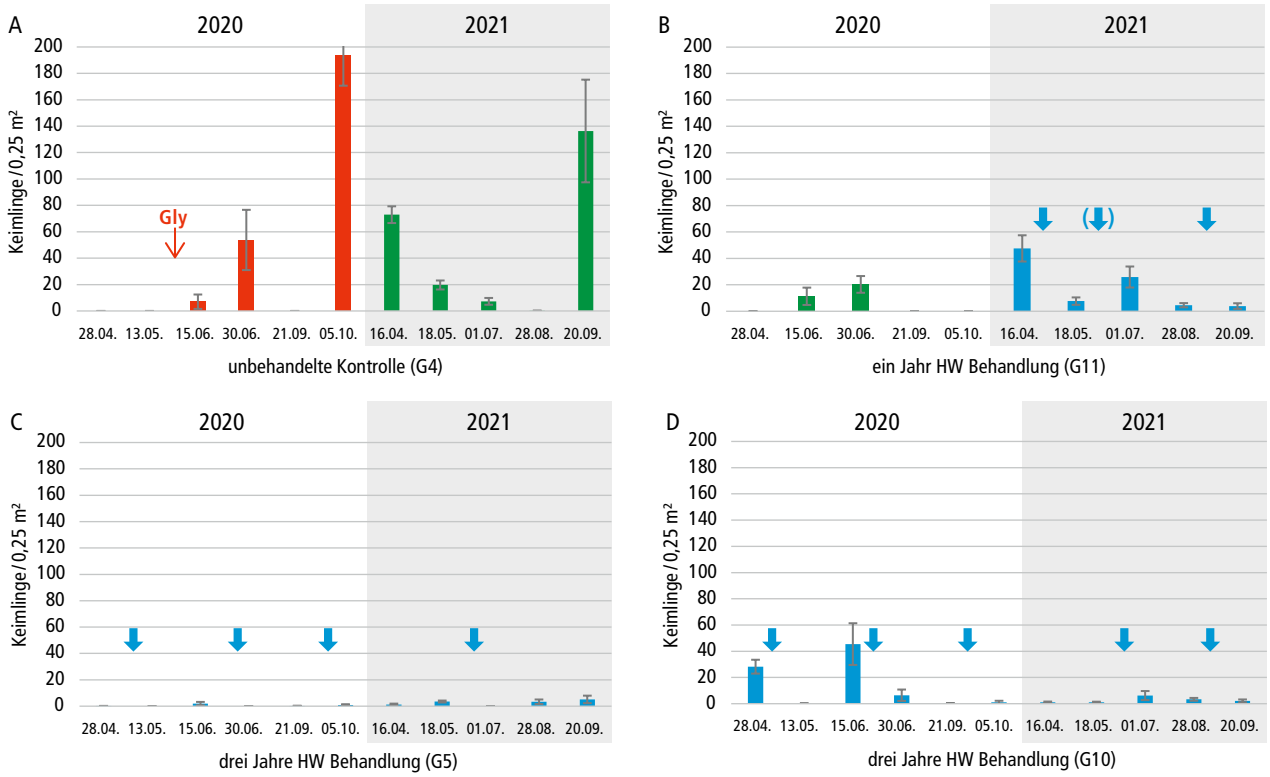


Abb. 6 | Keimlinge (Keimlinge / 0,25 m²) neben den Gleisen in Muttenz 2020 und 2021.

Die Erhebungen erfolgten in den Zählrahmen (2020: N = 9, 2021: N = 15) an den unterschiedlichen Boniturdaten: T1 = 28.04.2020, T2 = 13.05.2020, T3 = 15.06.2020, T4 = 30.06.2020, T5 = 21.09.2020, T6 = 05.10.2020, T7 = 16.04.2021, T8 = 18.05.2021, T9 = 01.07.2021, T10 = 28.08.2021, T11 = 20.09.2021. **A** Gleis 4 (G4): einmalige Glyphosatbehandlung im Mai 2020, unbehandelte Kontrolle 2021. **B** Gleis 11 (G11): unbehandelte Kontrolle 2020, drei HW-Behandlungen 2021. **C** Gleis 5 (G5): drei HW-Behandlungen 2019 und 2020, eine HW-Behandlung 2021. **D** Gleis 10 (G10): drei HW-Behandlungen 2019 und 2020, zwei HW-Behandlungen 2021. = ⬇ HW-Behandlungen.

grösserer Pflanzen auf lediglich 10 / 0,25 m² (Abb. 4C) und die grüne Bodenbedeckung auf 6 % zu (Abb. 5C).

Auf Gleis 10 erfolgten 2021 zwei HW-Behandlungen, wobei HW5 mit einem Wirkungsgrad von 91 % höher war (Tab. 2). Obwohl eine 2. HW Ende August erfolgte, sind die Beobachtungen Ende September (T11) vergleichbar mit Gleis 5 (Abb. 4, 5 und 6D). Die Anzahl grösserer Pflanzen betrug im Schnitt 6/0,25 m² und die grüne Bodenbedeckung 5 %. Auf beiden Gleisen war das Ergebnis nach drei Jahren HW-Behandlung sehr erfolgreich und zufriedenstellend.

Vorhandene Pflanzenarten

2020 und 2021 wurden 63 verschiedene Pflanzenarten auf den Randwegen neben den Gleisen in den Zählrahmen bestimmt und gezählt (Tab. 4). 60 % der Pflanzen waren ein- bis zweijährige Arten, 5 % Holzgewächse, 19 % ausdauernde Pflanzen und 16 % Gräser.

Am Ende der Vegetationsperioden 2020 und 2021 waren auf den mit HW behandelten Gleisen 23 verschiedene Pflanzenarten teilweise noch lebend vorhanden (Tab. 4, *). Dabei handelte es sich um Pflanzen i) die nicht mit HW benetzt wurden, da sie sich z.B. unter einem Stein oder einem grossen Blatt befanden, ii) die die HW Behandlung überlebt haben, iii) deren oberirdische Blattmasse vom HW zerstört wurde und die anschliessend wieder ausgetrieben sind oder iv) Pflanzen die erst nach der letzten HW-Behandlung gekeimt und gewachsen sind.

Auf dem Kontrollgleis, kann man sehen, wie sich die Pflanzen ohne Bekämpfungsmassnahmen entwickeln (Abb. 7). Ende September 2021 konnten im Zählrahmen 1 auf Gleis 4 324 Pflanzen gezählt werden.

Im Zählrahmen 1 auf Gleis 11, waren zu Vegetationsbeginn und Ende September keine lebenden Pflanzen vorhanden (Abb. 8).

Nach einer HW-Behandlung Mitte Juni 2021 auf Gleis 5 mit einer Wirksamkeit von 99,6 % wurden alle Pflanzen erfolgreich abgetötet. Bis Ende September entwickelten sich, beispielhaft im Zählrahmen 1, 27 neue Pflanzen fünf verschiedener Arten: *Amaranthus* sp., *Sonchus asper*, *Taraxacum officinale*, *Apera* sp. und *Setaria* sp. (Abb. 9).

Nach zwei HW-Behandlungen Mitte Juni (Wirksamkeit 91,4 %) und Ende August (Wirksamkeit 89,6 %) auf Gleis 10 waren Ende September, beispielhaft im Zählrahmen 1, 5 Pflanzen vier verschiedener Arten vorhanden: *Amaranthus* sp., *Erodium asper*, *Senecio* sp. und *Arenaria* sp. Die zweite HW-Behandlung war weniger wirksam als die erste HW-Behandlung.

Diskussion

Thermische Unkrautvernichtung kann eine Alternative zum Herbizid Einsatz sein. Dabei sind Wasser basierte Verfahren (Dampf oder HW) effektiver als Flammen oder heisse Luft (Melander *et al.*, 2017). Schädigende Auswirkungen von HW auf Pflanzen können ab 45 °C beobachtet werden, wobei die meisten Pflanzenarten mit Temperaturen von 60° bis 80 °C abgetötet werden können (Melander *et al.*, 2017). Eine erfolgreiche Behandlung hängt unter anderem vom Wachstumsstadium der Pflanzen und dem Pflanzentyp ab. Je kleiner, bzw. weniger entwickelt die Pflanzen sind, desto erfolgreicher ist die Behandlung (Melander *et al.*, 2017). Kleine einjährige Pflanzen können daher in der Regel erfolgreich bekämpft werden, was sich mit den Beobachtungen in

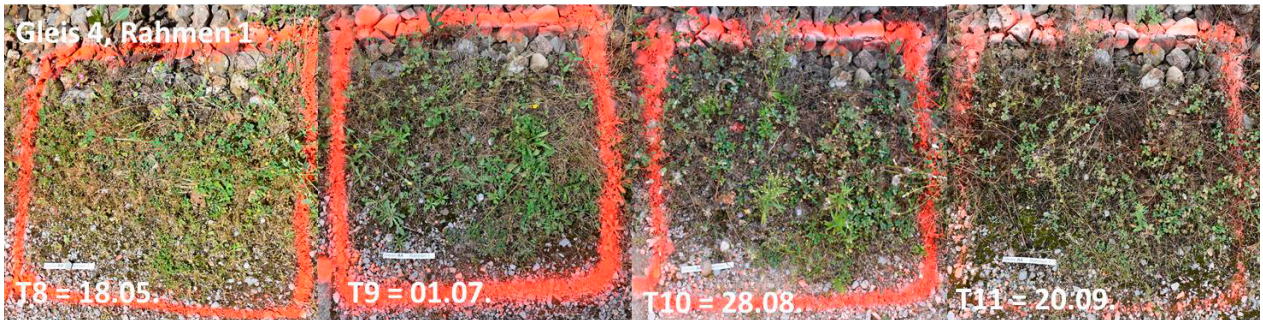
Tab. 4 | Vorhandene Pflanzenarten auf den Gleisen 2020 und 2021

	Lateinischer Name	Deutscher Name
Ein- bis zweijährige Pflanzen	*Amaranthus* sp.*	Amarant*
	Arabidopsis sp	Schaumkressen
	Arenaria sp.*	Sandkräuter*
	Berteroa incana	Graukresse
	Brassica napus	Raps
	Brassica sp.	Kreuzblütler
	Cardamina hirsuta	Behaartes Schaumkraut
	Cerastium sp.	Hornkräuter
	Chaenorrhinum rubrifolium	rötliches Leinkraut
	Chenopodium sp.	Gänsefüsse
	Conyza sp.*	Berufkräuter*
	Crepis sp.*	Pippau*
	Epilobium sp.	Weidenröschen
	Erigeron sp.	Berufkräuter
	Erodium cicutarium	Gewöhnlicher Reiherschnabel
	Erodium sp.*	Reiherschnäbel*
	Euphorbia sp.*	Wolfsmilch*
	Euphorbia nutans	Nickende Wolfsmilch
	Euphorbia prostata	Hingestreckte Wolfsmilch
	*Geranium robertianum**	stinkender Storchschnabel*
	Geranium sp.	Storchschnäbel
	Hypericum perforatum	Echtes Johanniskraut
	Lactuca sp.	Lattiche
	Lapsana communis	Gemeiner Rainkohl
	*Medicago lupulina**	Hopfenklee*
	Mercurialis annua	einjähriges Bingelkraut
	Myosotis sp.	Vergissmeinnicht
	Oenothera biennis	Gemeine Nachtkerze
	Papaver rhoeas	Klatschmohn
	*Picris hieracioides**	Gewöhnliches Bitterkraut*
	Picris sp.*	Bitterkräuter*
	Sedum sp.	Dickblattgewächse
	Senecio inaequidens	Schmalblättriges Kreuzkraut
	Senecio sp.*	Kreuzkräuter*
	*Solanum nigrum**	Schwarzer Nachtschatten*
	*Sonchus asper**	Raue Gänsedistel*
	Stellaria media	Vogelmiere
	Veronica sp.	Ehrenpreis

	Lateinischer Name	Deutscher Name
Holz gewächse	*Acer campestre**	Feldahorn*
	Pinus sp.	Kiefern
	Robinia pseudoacacia	Gewöhnliche Robinie
ausdauernde Pflanzen	*Antirrhinum* sp.	Löwenmäulchen
	Lepidium latifolium	Pfefferkraut
	Lepidium sp.	Kressen
	Linaria sp.*	Leinkraut*
	Linaria vulgaris	Echtes Leinkraut
	Reynoutria japonica	Japanknöterich
	Senecio inaequidens	Schmalblättriges Kreuzkraut
	Silene latifolia	Weisse Lichtnelke
	Sonchus arvensis	Acker-Gänsedistel
	*Taraxacum officinale**	Löwenzahn*
	*Tragopogon dubius**	Grosser Bocksbart*
	Viola sp.	Veilchen
Gräser	*Apera* sp.*	Windhalm*
	Bromus sp.	Trespen
	Digitaria sp.*	Fingerhirsen*
	Echinochloa crus-galli	Hühnerhirse
	Festuca sp.*	Schwingel Arten*
	Lollium sp.	Weidelgras
	Panicum sp.	Rispenhirsen
	*Poa annua**	Einjährige Rispengras*
	Poa sp.*	Rispengräser*
	Setaria sp.*	Borstenhirsen*

Einteilung in ein- bis zweijährige Arten, Holzgewächse, ausdauernde Pflanzen und Gräser. Pflanzenarten die mit einem * markiert sind, waren am Ende der Vegetationsperiode 2020 und/oder 2021 teilweise noch auf den Gleisen vorhanden.

den Versuchen der SBB deckt. Zwei Drittel der ein- bis zweijährigen Pflanzen wurden durch die HW Behandlungen vollständig abgetötet. Da allerdings während der gesamten Vegetationsperiode immer wieder neue Pflanzen keimen, muss für eine erfolgreiche Behandlung auf jeden Fall mehrmals pro Saison behandelt werden. Pflanzen die nach der letzten HW Behandlung keimen können daher nicht erfasst werden. Mehrjährige ausdauernde Tiefwurzler, wie z.B. *Taraxacum officinale*, sind schwer zu bekämpfen und überleben die HW Behandlungen teilweise, was auch im Rangierbahnhof Basel-Muttenz beobachtet werden konnte. Bei mehrmaliger Behandlung werden die Pflanzen allerdings immer mehr geschwächt, und sterben letztendlich ab. Sehr schwierig ist es auch grosse, bereits stark entwickelte Pflanzen mit einer grossen Blattmasse erfolgreich zu bekämpfen. Für eine erfolgreiche Kontrolle von Unkrautpflanzen mit vier bis zwölf Blättern wird 2- bis 4-mal so viel Energie benötigt wie für die Kontrolle der gleichen Pflanzen bis zum 4-Blatt Stadium (Ascard, 1995, Melander *et al.* 2017). Generell sind Gräser, die aufgrund ihres aufrechten Wuchses weniger mit Wasser benetzt werden, schwieriger mit HW zu bekämpfen (Peerzada und Chauhan, 2018; De Cauwer *et al.*, 2015). Ausserdem können Pflanzen die bei der HW-Behandlung von grösseren Pflanzen, bzw. deren Blättern abgedeckt werden, nicht bekämpft werden. Am Ende der Vegetationsperiode ist es v.a. wichtig ob die durch das HW in ihrem Wachstum gebremsten Pflanzen Samen ausbilden konnten. Die Samenbildung ist auf jeden Fall zu vermeiden um den Pflanzenbewuchs in den Folgejahren gering zu halten.
Die in diesem Artikel aufgelisteten Arten sind typisch



Arenaria sp.
Crepis sp.
Geranium robertianum
Medicago lupulina
Poa annua
Sonchus asper
Taraxacum officinale
Total 69 Pflanzen

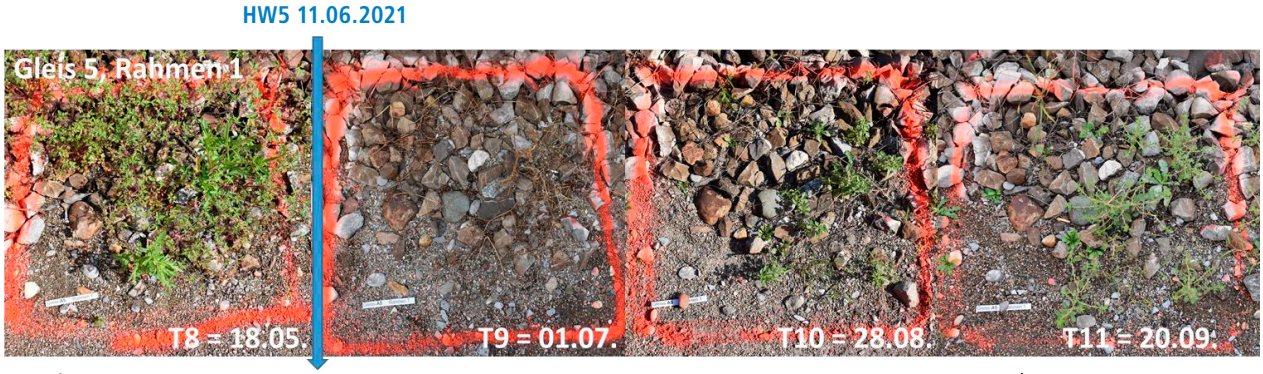
Conyza canadensis
Medicago lupulina
Monocots
Dicots
Total 324 Pflanzen

Abb. 7 | Entwicklung der Flora im Rahmen 1 auf Gleis 4 ohne HW-Behandlung im Jahr 2021 (Kontrolle).
Die Anzahl vorhandener Pflanzen und die bonitierten Pflanzenarten zu den Zeitpunkten T8 und T11 sind unterhalb der jeweiligen Fotos aufgelistet.

Total 0 Pflanzen

Total 0 Pflanzen

Abb. 8 | Entwicklung der Flora im Rahmen 1 auf Gleis 11 mit drei HW-Behandlungen im Jahr 2021.
Die Anzahl vorhandener Pflanzen und die bonitierten Pflanzenarten zu den Zeitpunkten T8 und T11 sind unterhalb der jeweiligen Fotos aufgelistet.



Arenaria sp.
Conyza canadensis
Geranium robertianum
Papaver rhoeas
Sedum sp.
Veronica sp.
Total 39 Pflanzen

Amaranthus sp.
Sonchus asper
Taraxacum offinicale
Apera sp.
Setaria sp.
Total 27 Pflanzen

Abb. 9 | Entwicklung der Flora im Rahmen 1 auf Gleis 5 mit einer HW-Behandlung im Jahr 2021.
Anzahl vorhandener Pflanzen und die bonitierten Pflanzenarten zu den Zeitpunkten T8 und T11 sind unterhalb der jeweiligen Fotos aufgelistet.

Arenaria sp.
Conyza canadensis
Crepis sp.
Medicago lupulina
Sedum sp.
Veronica sp.
Total 42 Pflanzen

Amaranthus sp.
Erodium sp.
Senecio sp.
Arenaria sp.
Total 5 Pflanzen

Abb. 10 | Entwicklung der Flora im Rahmen 1 auf Gleis 10 mit zwei HW-Behandlungen im Jahr 2021.
Anzahl vorhandener Pflanzen und die bonitierten Pflanzenarten zu den Zeitpunkten T8 und T11 sind unterhalb der jeweiligen Fotos aufgelistet.

für den Rangierbahnhof Muttenz in Basel. Es handelt sich um einen trockenen und voll der Sonne exponierten Standort. Generell sind Wachstumsbedingungen für Pflanzen auf dem Randweg besser als auf dem Schotterbett. In einer mehrjährigen Studie der Deutschen Bahn AG wurden 166 Arten auf dem Randweg verschiedener Standorte bestimmt (Eggers *et al.* 2001). Von den 38 Arten mit Deckungsgraden über 5 % auf den DB Strecken, wurden elf Arten in Muttenz gefunden. Allerdings differieren die Bedingungen für den Standort Gleis örtlich erheblich. Folglich sind die vorhandenen Arten, je nach Standort sehr unterschiedlich und es ist davon auszugehen, dass auf dem Schweizer Streckennetz je nach Standort weitere Arten zu finden sind. Einjährige Pflanzen gelangen regelmässig über den Eintrag von Samen, v.a. durch die Luft, in den Gleisbereich und können sich bei hoher Samenproduktion potentiell stark ausbreiten.
Nach einer HW-Behandlung kann es sein, dass bestimmte Pflanzen Arten «Hitzeschockproteine» ausbilden die sie gegenüber einer erneuten HW-Behandlung «resis-

tent» machen. Das Phänomen wird als heat stress memory bezeichnet und ist auf vererbbare epigenetische Veränderungen in den Pflanzen zurückzuführen (Ramakrishnan *et al.*, 2022). Dabei gilt es auch zu beachten, dass der Schotter im Gleisbett im Sommer teilweise sehr heiss werden kann, was ebenfalls zur Selektion hitzeresistenter Pflanzen im Gleisbereich beitragen könnte.
Die vorliegenden Beobachtungen sind nicht ausreichend um abschliessende Aussagen über die Wirkung von HW auf einzelne Pflanzenarten zu machen. Dazu müssten weitere Beobachtungen unter unterschiedlichen Bedingungen über mehrere Jahre stattfinden.
Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der HW-Behandlung von unerwünschten Pflanzen im Gleisbereich sind Energie-, Material- und Arbeitskosten. Dieser Aspekt wird in diesem Artikel nicht behandelt, ist aber für ein eventuelles Weiterentwickeln der Technik ausschlaggebend.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Bei korrekter Durchführung der HW-Behandlungen, kann diese Methode als wirksam angesehen werden, um das Wachstum der Vegetation auf den Wegen neben den Gleisen zu kontrollieren. Seitens der SBB ist geplant auf den Einsatz von Herbiziden im regulären Unterhalt der Bahnanlagen bis 2025 zu verzichten. Der Einsatz von chemischen Pflanzenbekämpfungsmethoden soll nur noch in Ausnahmensituationen als «Ultima Ratio» möglich sein. Dabei wird keine 1:1 Ersatzlösung für das Glyphosat angestrebt, sondern eine Mischung von unterschiedlichen Massnahmen und Verfahren zur Anwendung kommen. Thermische Verfahren wie Heisswasser werden dabei als Teil einer Gesamtlösung für eine kleinräumige Anwendung gesehen. Durch den hohen logistischen und betrieblichen Aufwand sind die Anwendungsmöglichkeiten für einen grossräumigen Einsatz auf dem Streckennetz eingeschränkt, jedoch grösstenteils auch nicht erforderlich da die Vegetation im Gleisbereich nicht immer störend ist. ■

Literatur

- Ascard J (1995) Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. *Weed Research* **35**, 397–411.
- Bohren C, Adolph G, Tanner L (2020) Wirkungsvergleich Heisswasser und Herbizid – Schweizer Bahnen wollen ab 2025 weitgehend auf Herbizideinsatz verzichten. 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Braunschweig, Deutschland, 3.–5. März 2020. *Julius-Kühn-Archiv* **464**, 420–426.
- De Cauwer B, Bogaert S, Claerhout S, Bulcke R, Reheul D (2015) Efficacy and reduced fuel use for hot water weed control on pavements. *Weed Research* **55**, 195–205.
- Eggers T, Zwerger P, Aderhold D (2001) Bewuchsentwicklung und Bildung typischer Pflanzenbestände auf Gleisanlagen. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **53** (4), 91–97.
- Melander B, Liebmann M, Davis AS, Gallandt ER, Barberi P, Moonen AC, Rasmussen J, van der Weide R, Vidotto F (2017) Non-chemical weed management. In Hatcher, P.E. and Froud Williams, R.J. (Eds.), Weed research: expanding horizons. John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, NJ, USA, pp. 259-264.
- Peerzada AM, Chauhan BS (2018) Chapter 2 - Thermal Weed Control: History, Mechanisms, and Impacts. Non-Chemical Weed Control, 9-31. doi: 10.1016/B978-0-12-809881-3.00002-4
- Ramakrishnan M, Zhang Z, Mullasseri S, Kalendar R, Ahmad AS, Liu G, Zhou M, Wei Q (2022) Epigenetic stress memory: A new approach to study cold and heat stress responses in plants. *Frontiers in Plant Science* **13**. doi: 10.3389/fpls.2022.1075279