

Schluss- bzw. Zwischenbericht für Vorhaben¹ des Sonderprogramms zur Stärkung der biologischen Vielfalt

Gesamtbetrachtung des bisherigen Vorhabenzeitraums

Vermeidung/Verminderung des Herbizideinsatzes auf landeseigenen Schienenwegen durch naturschutzorientierte Pflege der Begleitflächen

Zusammenfassung/Fazit

Vegetationsaufwuchs auf Schienenwegen kann die Betriebssicherheit des Eisenbahnverkehrs gefährden. Aktuell wird dieser Vegetationsaufwuchs meist durch Herbizide kontrolliert. Derzeit wird jedoch intensiv nach herbizidfreien Kontrollmethoden gesucht. Diesen herbizidfreien Methoden ist gemein, dass Aufwand und Kosten von der Menge der zu entfernenden Vegetation abhängen. Daher wurde in diesem Projekt mit einem wissenschaftlichen Versuchs untersucht, ob durch geeignete Pflege von Schienenbegleitflächen (Wahl der Mulchtermine bei zweimal jährlichem Mulchen) die Menge der auf Schienenwegen aufwachsenden Vegetation reduziert werden kann, und ob diese Pflege die Begleitflächen im Sinne des Naturschutzes aufwertet. Dazu wurden in zwei Naturräumen (Oberrhein und Schwäbische Alb) je 10 Versuchsblöcke angelegt, in denen die Begleitflächen vier verschiedenen Mulchregimen unterworfen wurden. Der Versuch ergab, dass eine Kombination aus spätem Erst- und spätem Zweitmulchen der Begleitflächen (in KW28/29 und KW38/39) den Vegetationsaufwuchs auf Schienenwegen erheblich reduziert (auf 44% - 58% des Aufwuchses in den anderen Mulchregimen). Diese Reduktion ergibt sich dadurch, dass spätes Erst- und Zweitmulchen die Häufigkeit von starkwüchsigen Problemarten auf den Begleitflächen reduziert, was das Einwachsen dieser Arten auf den Schienenweg erschwert. Zugleich haben Begleitflächen mit einer geringeren Häufigkeit von Problemarten einen höheren Anteil naturschutzrelevanter Zielarten. Der Anteil der Zielarten wurde durch konsequentes zweimal jährliches Mulchen auf 124% des Ausgangswerts gesteigert, auch wenn die Mulchzeitpunkte *per se* während der Versuchslaufzeit keinen signifikanten Effekt auf diesen Anteil hatten. Da das deutsche Schienennetz 38.400 km umfasst (wovon 210 km von der SWEAG GmbH bewirtschaftet werden), könnte ein optimiertes Mulchregime einen erheblichen Beitrag zur Herbizidreduktion leisten und zugleich aus Naturschutzsicht wertvolle Offenlandbiotope schaffen und vernetzen.

¹ Umfasst Projekte und Maßnahmen

1. Einführung

1.1. Gegenstand des Vorhabens, aktueller Status

Vegetationsaufwuchs auf dem Gleisbett von Schienenwegen stellt ein Problem für den Eisenbahnverkehr dar. Das Gleisbett besteht aus grobem Schotter, der für eine feste Oberfläche sorgt und eine sichere Basis für die Gleise darstellt (Schweinsberg et al., 1999). Um einen sicheren und reibungsfreien Schienenverkehr gewährleisten zu können, müssen einwachsende Pflanzen entfernt werden, die das Gleisbett auf Dauer destabilisieren würden (Ramwell et al., 2004). Problematisch sind insbesondere Pflanzenarten, die sich vegetativ über Ausläufer verbreiten und daher von angrenzenden Schienenbegleitflächen in den Schienenweg einwachsen. In Baden-Württemberg gehören dazu u.a. Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*), Brombeere (*Rubus fruticosus*), Kratzbeere (*Rubus caesius*) und Windenarten (*Calystegia sepium* und *Convolvulus arvensis*; Breunig, 2019).

Zugleich bieten Schienenwege und die umgebenden Begleitflächen freilebenden Organismen eine Vielfalt an Habitaten (Brandes & Oppermann, 1995). Insbesondere beherbergen Schienenbegleitflächen diverse Grünlandgesellschaften (Brandes & Oppermann, 1995) und eignen sich somit als alternative Habitats und/oder Verbindungskorridore für Offenlandarten (Tikka et al., 2001; Penone et al., 2012). Die Förderung einheimischer Pflanzenarten entlang von Schienenwegen, die sich nicht negativ auf die Sicherheit des Zugverkehrs auswirken, können zum Erosionsschutz an Böschungen beitragen, sowie die Biodiversität fördern (Nolte et al., 2018).

Derzeit wird der Vegetationsaufwuchs auf Schienenwegen meist durch Einsatz von Herbiziden kontrolliert. Zu Projektbeginn war der meistgenutzte Wirkstoff an Schienenwegen in Deutschland das Breitbandherbizid Glyphosat (Niedersächsischer Landtag, 2018). Allerdings soll nach § 17b des baden-württembergischen Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes der Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln bis 2030 auch durch Maßnahmen im Verkehrsbereich um 40 – 50% reduziert werden. Zudem läuft die Genehmigung für Glyphosat als Wirkstoff in Pflanzenschutzmitteln in der EU am 15. Dezember 2023 aus und derzeit ist unklar, ob diese Genehmigung erneuert werden wird.

Aufgrund der existierenden bzw. erwarteten Vorgaben zur Reduktion des Herbizideinsatzes wird intensiv nach herbizidfreien Methoden zur Kontrolle des Vegetationsaufwuchses auf Schienenwegen gesucht. Mögliche herbizidfreie Methoden umfassen z.B. die Behandlung von Pflanzen mit heißem Wasser, Strom oder UV-Licht. Vielversprechende Resultate erzielte ein Pilotprojekt der Schweizer Bundesbahn zur Vegetationskontrolle mit Heißwasser. Bei idealer Anwendung waren die erzielten Kontrolleffekte mit dem Effekt von Glyphosat vergleichbar

(Tanner, 2022). Allerdings hängt die optimale Wirkungsleistung von verschiedenen Faktoren, wie einem frühen Entwicklungsstadium der Pflanzen sowie einer geringen Applikationsgeschwindigkeit ab (Tanner, 2022). Allen herbizidfreien Methoden ist gemein, dass Aufwand und Kosten von der Menge des zu entfernenden Vegetationsaufwuchses abhängen. Daraus ergibt sich die Frage, wie der Vegetationsaufwuchs auf dem Schienenweg *a priori* reduziert werden kann.

Pflanzen besiedeln den Schienenweg mittels zweier Mechanismen. Zum einen über kleine mobile Ausbreitungseinheiten (Diasporen) und zum anderen über vegetatives Einwachsen. Für problematische Arten, die ausgeprägte Wurzel- oder Sproßsysteme bilden, ist insbesondere das Einwachsen aus benachbarten Schienenbegleitflächen relevant. Diese führt zur Frage, ob die Besiedelung von Schienenwegen reduziert werden kann, wenn angrenzende Begleitflächen so gepflegt werden, dass problematische Arten zurückgedrängt werden (Breunig, 2019). Idealerweise könnte sich dadurch auf den Begleitflächen artenreiches Grünland entwickeln, das diese Flächen naturschutzfachlich aufwerten würde (Breunig, 2019). Diese Aufwertung hängt jedoch davon ab, ob an den Standorten in der Bodensamenbank Samen (Diasporen) von Zielarten des Naturschutzes vorhanden sind bzw. ob diese Samen eingetragen werden und sich etablieren können.

Grundsätzlich ist das zweimal jährliche Mulchen eine geeignete Pflegemaßnahme sowohl für die Kontrolle hochwüchsiger Pflanzenarten (Büll et al. 2016) als auch für die Entwicklung magergrasartiger Vegetation (Lambertz & Schmidt 2003, Schreiber et al. 2013). Bezüglich der Mulchzeitpunkte gehen die Empfehlungen für das Erreichen dieser beiden Ziele jedoch auseinander: zur Kontrolle hochwüchsiger Pflanzenarten werden frühe Mulchtermine empfohlen (im Kaiserstuhl im Juni und im August, Büll et al. 2016), für die naturschutzfachliche Aufwertung durch Ausmagerung jedoch spätere Mulchtermine Anfang Juli und ab Ende August (Lambertz & Schmidt 2003, Schreiber et al. 2013). Eine systematische Analyse im Hinblick auf die Anforderungen des Eisenbahnbetriebs, die auch Kombinationen von Mulchregimen untersucht (z.B. frühes Erstmulchen und spätes Zweitmulchen) fehlt bisher jedoch.

1.2. Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

Das Forschungsprojekt untersuchte, ob durch geeignete Pflege der Schienenbegleitflächen sowohl die herbizidfreie Kontrolle von Vegetationsaufwuchs auf dem Schienenweg als auch der Naturschutzwert der Begleitflächen gesteigert werden kann. Dazu wurde ein Freilandversuch durchgeführt, der zwei zentrale Fragestellungen adressierte:

1) Kann durch Optimierung der Mulchtermine auf den Schienenbegleitflächen die Menge der auf Schienenwegen aufwachsenden Problempflanzen reduziert werden?

2) Führt dieses Mulchregime auch zu einer Aufwertung der Begleitflächen im Sinne des Naturschutzes?

Antworten auf diese Fragen sind für zwei wesentliche Ziele des Sonderprogramms relevant: die landesweite Reduktion von Pflanzenschutzmittel sowie die Förderung der biologischen Vielfalt im Offenland.

2. Material und Methoden, Durchführung des Vorhabens/Arbeitsschritte/Arbeitspakete

2.1. *Aufbau des Vorhabens*

Das Forschungsvorhaben wurde von April 2020 bis April 2023 in Kooperation zwischen dem Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim und der SWEG Südwestdeutsche Landesverkehrs-GmbH (SWEG) durchgeführt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden eine Masterarbeit (Lutz, 2021) sowie drei Bachelorarbeiten (Lepper, 2021; Schäfer, 2021; Fink, 2022) angefertigt.

Versuchsdurchführung

Der Versuch lief vom Frühjahr 2020 bis zum Herbst 2022. Dazu wurden in zwei Naturräumen (Oberrhein und Schwäbische Alb) entlang von Schienenwegen der SWEG 20 Versuchsblöcke eingerichtet. Im Oberrheingebiet sind dies 10 Versuchsblöcke (O1-O10) an den SWEG-Strecken 9431 und 9432 zwischen Vogtsburg am Kaiserstuhl und Riegel am Kaiserstuhl. Auf der Schwäbischen Alb liegen die 10 Versuchsblöcke (A1-A10) an den SWEG-Strecken 9461 und 9466 zwischen Sigmaringen und Trochtelfingen. Die Schienenbegleitflächen in den Versuchsblöcken decken ein breites Spektrum an Standortbedingungen ab, von stark trockenen bis zu feuchten Standorten.

Jeder Versuchsblock umfasste 120 m Schienenweg, auf denen keine Herbizide eingesetzt wurden (Abb. 1). Stattdessen wurde in den Versuchsblöcken der Vegetationsaufwuchs auf dem Schienenweg durch eine von der SWEG beauftragte Drittfirma manuell gejätet. Um Randeffekte durch Herbizidverdriftung zu vermeiden, lagen am Rand jedes Blocks zwei Pufferflächen à 10 m Länge. Im zentralen Bereich jedes Blocks befanden sich beidseits des Schienenwegs vier 25 m lange und 3 m breite Behandlungsabschnitte, die vier verschiedenen Mulchbehandlungen unterworfen wurden. Diese vier Behandlungen ergeben sich daraus, dass sowohl für

den ersten als auch für den zweiten Mulchtermin jeweils eine frühe und eine späte Terminvariante untersucht wurde (Tabelle 1, Abb. 1).

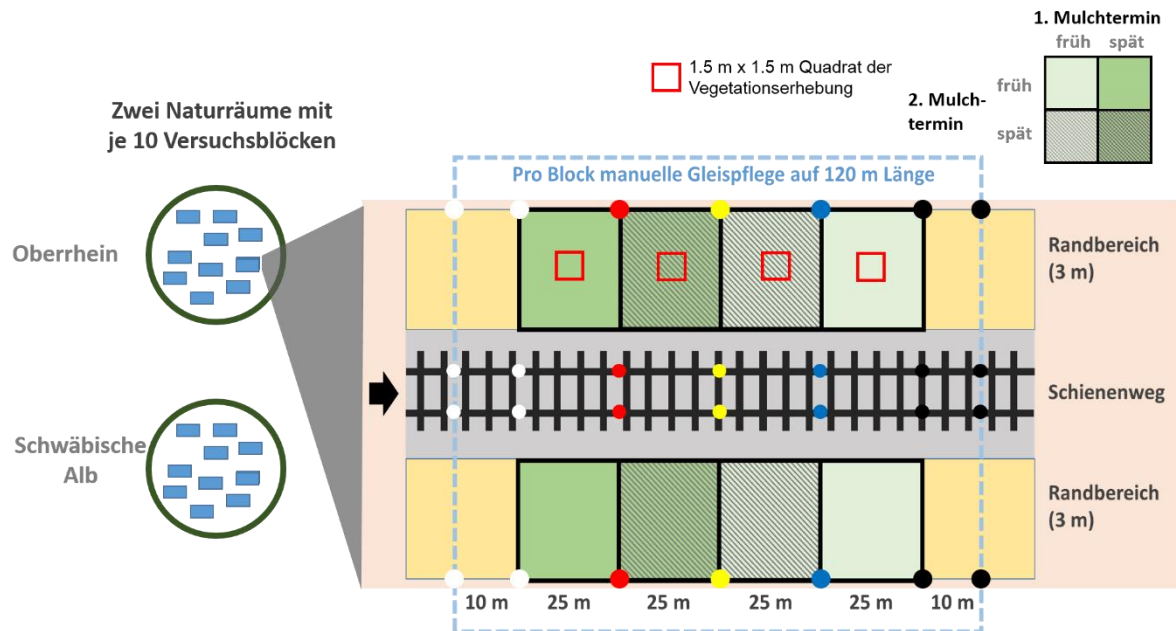


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus. In jedem der 20 Versuchsblöcke wurden vier verschiedene Mulchbehandlungen der Randbereiche erprobt (alle Kombinationen von frühen bzw. späten Terminen für das erste und zweite Mulchen).

Tabelle 1 Die vier experimentellen Mulchbehandlungen der Schienenbegleitvegetation unterscheiden sich im Zeitpunkt des ersten und zweiten Mulchtermins. Die Tabelle gibt die Kalenderwoche (KW) dieser Zeitpunkte an (dabei bezieht sich der erste Zeitpunkt auf die Region Oberrhein, der zweite auf die Region Schwäbische Alb).

Behandlung	Erster Mulchtermin	Zweiter Mulchtermin
früh-früh	KW23/24	KW33/34
früh-spät	KW23/24	KW38/39
spät-früh	KW28/29	KW33/34
spät-spät	KW28/29	KW38/39

In jedem der 80 Behandlungsabschnitte wurde vor dem manuellem Jäten (Anfang September) die Vegetationsbedeckung auf dem gesamten Streckenabschnitt der Behandlungsfläche (25 m x 2,5 m) geschätzt. Durch die Drittfirma wurden zudem alle in den zentralen 2,5 m der Gleise gejäteten Pflanzen zur weiteren Analyse gesammelt. Diese Pflanzenproben wurden

dann in Trockenöfen getrocknet, um die Trockenbiomasse zu bestimmen. Da sich bei Zuordnung der von der Drittfirma gesammelten Pflanzenproben zu den Behandlungsabschnitten jedoch einige Inkonsistenzen ergaben, werden aus Platzgründen im Folgenden nur die standardisierten Deckungsschätzungen analysiert und dargestellt.

In jedem Behandlungsabschnitt wurde zudem eine 1,5 m x 1,5 m große Dauerbeobachtungsfläche in der Schienenbegleitvegetation eingerichtet (Abb. 1). In jeder dieser Flächen wurden jährlich zwei Vegetationsaufnahmen durchgeführt: vor dem ersten Mulchen (KW22/23) sowie zwischen erstem und zweitem Mulchen (KW32/33). Dabei wurde für jede Gefäßpflanzenart die prozentuale Deckung in Schritten von 5% geschätzt (bzw. in Schritten von 1% bei einer Deckung unter 5%). Auf Basis dieser Vegetationsaufnahmen ermittelten wir die Gesamtdeckung von Problemarten und Neophyten, sowie den Deckungsanteil von Zielarten des Naturschutzes. Gemäß Breunig (2019) definierten wir als Problemarten die Gattungen *Rubus*, *Equisetum*, *Calystegia* und *Convolvulus*. Allerdings unterschieden sich die im Folgenden präsentierten Ergebnisse qualitativ nicht, wenn zusätzlich andere Arten mit Fähigkeit zu starkem vegetativen Wachstum als Problemarten klassifiziert wurden (*Cirsium arvense*, *Cirsium vulgare*, *Clematis vitalba*, *Humulus lupulus*, *Prunus spinosa*, *Robinia pseudoacacia*, *Rosa canina*, *Solidago canadensis*, *Solidago gigantea*). Als Zielarten definierten wir Arten von artenreichen Mähwiesen bzw. Grünland, Halbtrockenrasen und Trockenrasen (nach floraweb.de, basierend auf der Biotoptypenklassifizierung von Finck et al. 2017).

Um das Entwicklungspotential zur naturschutzfachlichen Aufwertung der Schienenbegleitflächen zu erfassen, wurde außerdem die Bodensamenbank untersucht. In jedem der 80 Behandlungsabschnitte vor Versuchsbeginn (KW 21 2020) wurde beiderseits des Schienenwegs je eine Bodenprobe von der Begleitfläche entnommen. Dabei wurde zunächst oberirdisch die Vegetation entfernt und anschließend von drei Stellen insgesamt ein Liter des Oberbodens (bis zu einer Tiefe von 5 cm) entnommen. Die erhaltenen 160 Bodenproben wurden in einem Freilandkäfig mit natürlicher Beleuchtung gleichmäßig in je einer Keimschale (Länge x Breite x Tiefe: 66 cm x 35 cm x 6 cm) verteilt, die zuvor mit 7 Liter sterilisierter Gartenerde gefüllt worden war. Die Keimschalen wurden täglich bewässert, um eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit sicherzustellen. Über einen Zeitraum von 16 Wochen (KW 27-42) wurden dann die jeweils neu aufgelaufenen Keimlinge identifiziert, gezählt und als Zielarten, Problemarten, Neophyten und andere Arten kategorisiert. Mit diesen Daten konnte die Übereinstimmung zwischen den Arten aus der Bodensamenbank und der Vegetationsaufnahme auf den Schienenbegleitflächen ermittelt werden.

Darüber hinaus überprüften wir experimentell, ob auf den Schienenbegleitflächen durch Aussaat Arten des artenreichen Grünlands etabliert werden können. Dazu wurden an den Streckenabschnitten im Oberrhein 40 Paare von Aussaat- und Kontroll-Quadraten (à 0,3 m x 0,3 m) eingerichtet. Für das Experiment wurden fünf Arten frischer bis trockener Standorte ausgewählt. Die Auswahl umfasste drei Grasarten (*Arrhenatherum elatius*, *Festuca ovina*, *Poa angustifolia*), sowie zwei Kräuterarten (*Medicago lupulina*, *Stachys recta*). Bei dem verwendeten Saatgut handelte es sich um zertifiziertes Saatgut regionaler Herkunft (bezogen von Rieger-Hofmann GmbH). Die Aussaat erfolgte 2020 in KW 35, dabei wurden pro Art 25 Samen im Inneren jedes Aussaat-Quadrates ausgebracht. Anschließend wurde die Zahl der gekeimten Pflanzen über neun Wochen hinweg verfolgt. Aus diesen Daten wurde die Etablierungsrate berechnet als der Anteil ausgesäter Samen, der eine nach neun Wochen lebende Pflanze hervorgebracht hatte.

2.2. Statistische Auswertungen bzw. Quantifizierungen

Alle statistischen Auswertungen wurden mit R 4.2.2 (R Core Team 2022) durchgeführt. Die im Folgenden präsentierten Analysen verwendeten generalisierte lineare gemischte Modelle (R package glmmTMB; Brooks et al., 2017) und kontrollierten für Effekte des Jahres, des Versuchsblocks genestet in der Region und gegebenenfalls der Jahreszeit (letzteres nur bei Analysen von Vegetationsaufnahmen auf den Schienenbegleitflächen). Für die Analysen verwendeten wir im Allgemeinen die Tweedie-Fehlerverteilung, mit Ausnahme der Etablierungsdaten, die mit einer binomialen Fehlerverteilung analysiert wurden.

3./4. Ergebnisse des Vorhabens und Wirkungen auf die biologische Vielfalt

Vegetationsaufwuchs auf dem Schienenweg

Die Vegetationsdeckung auf dem Schienenweg lag im feuchten und kalten Jahr 2021 220% bzw. 85% höher als in den Jahren 2020 und 2022 (Abb. 2). Trotz dieser erheblichen Variation zwischen Jahren hatte das Mulchregime einen signifikanten Effekt auf die Vegetationsdeckung (Likelihood-Ratio-Test: $\chi^2_{3df} = 11.0$; $P = 0.01$). Im Mittel lag bei spätem Erst- und Zweimulchen die Vegetationsdeckung auf dem Schienenweg nur bei 44% - 58% der Deckung in den anderen Mulchvarianten (Abb. 2).

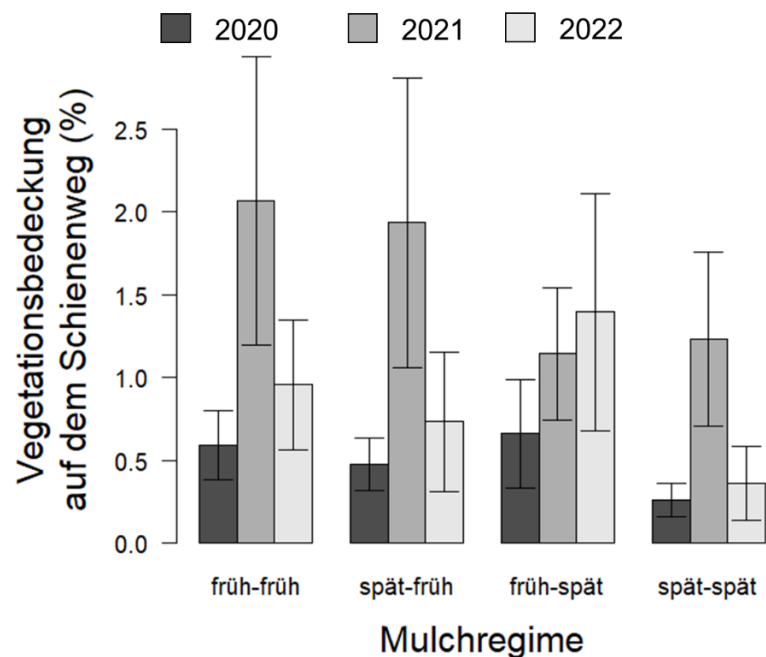


Abbildung 2. Effekt des Mulchregimes auf die Vegetationsbedeckung auf dem Schienenweg in den Versuchsjahren 2020 bis 2022. Die Balken zeigen den Mittelwert der jeweiligen Kategorie, die Fehlerbalken den Standardfehler.

Vegetationsentwicklung auf den Begleitflächen

Zu Beginn des Versuchs war die Schienenbegleitvegetation durch Arten nährstoffreicher Stauden- und Unkrautfluren dominiert (z.B. *Rubus caesius*, *Urtica dioica*, *Geum urbanum*, *Equisetum arvense*, *Digitalia sanguinalis*, *Galium aparine*, *Poa trivialis*, *Vicia sepium*, *Convolvulus arvensis*, *Glechoma hederacea*), unter denen sich mehrere Problemarten befinden. Es fanden sich jedoch auch kennzeichnende Pflanzenarten von mageren Flachland-Mähwiesen (FFH-Lebensraumtyp 6510) wie *Arrhenatherum elatius*, *Alopecurus pratensis*, *Daucus carota*, *Crepis biennis*, *Ranunculus acris*, *Knautia arvensis* und *Campanula patula* sowie – insbesondere am Oberrhein - kennzeichnende Pflanzenarten von Kalk-Magerrasen (FFH-Lebensraumtyp 6210) wie *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus* und *Hippocrepis comosa*.

Im Verlauf des Versuchs hing die Häufigkeit der Problemarten auf den Begleitflächen vom Mulchregime ab ($\chi^2_{3df} = 11.9$; $P = 0.007$) und lag bei Kombination von spätem Erst- und spätem Zweitmulchen 21% - 36% niedriger als bei den anderen Mulchbehandlungen (Abb. 3). Zudem sank die Häufigkeit von Problemarten bei fortgesetztem zweimaligem Mulchen im Laufe des dreijährigen Versuchs ($\chi^2_{1df} = 6.1$; $P = 0.01$).

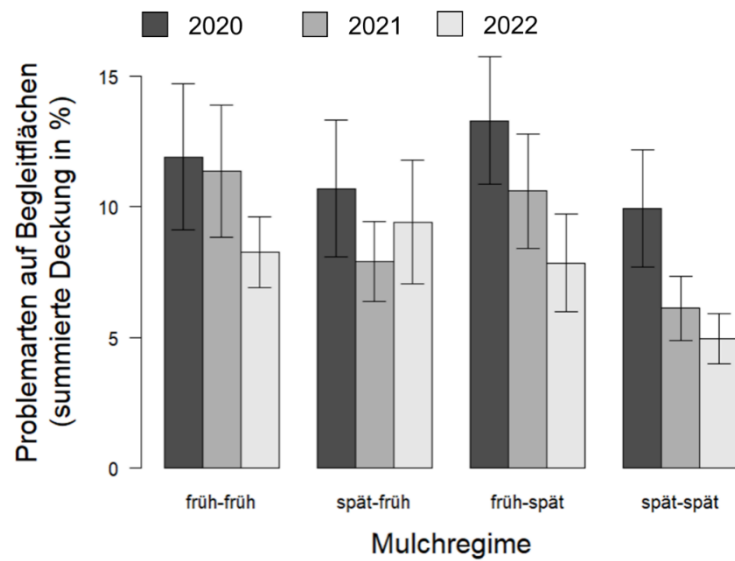


Abbildung 3. Effekt des Mulchregimes auf die Häufigkeit (summierte Deckung) von Problemarten in der Begleitvegetation. Die Balken zeigen den Mittelwert der jeweiligen Kategorie, die Fehlerbalken den Standardfehler.

Der Deckungsanteil der Zielarten an der Begleitvegetation stieg bei konsequentem zweimal jährlichen Mulchen im Laufe des Versuchs auf 124% des Ausgangswerts an ($\chi^2_{1df} = 4,7$; $P = 0.03$). Dagegen hatte das Mulchregime *per se* keinen signifikanten Effekt auf die Zielarten ($\chi^2_{3df} = 1.2$; $P = 0.74$; Abb. 4). Allerdings bestand auf den Begleitflächen ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen dem Deckungsanteil der Zielarten und der Häufigkeit von Problemarten ($\chi^2_{1df} = 5.7$; $P = 0.02$; Abb. 5).

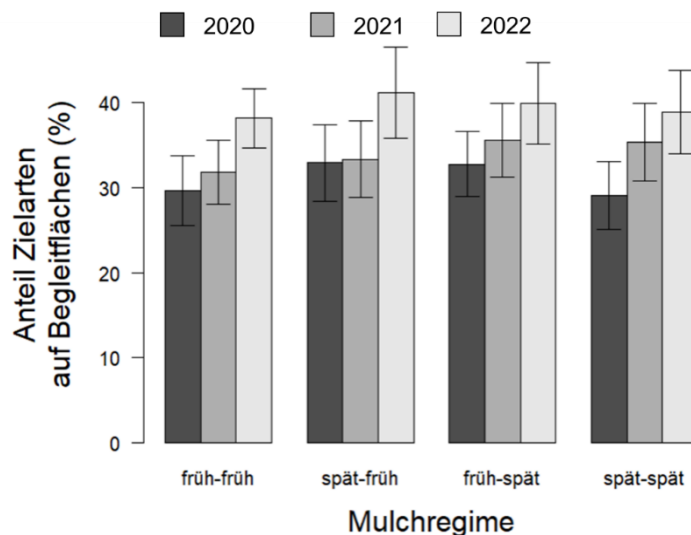


Abbildung 4. Effekt des Mulchregimes auf den Deckungsanteil von naturschutzrelevanten Zielarten in der Begleitvegetation. Die Balken zeigen den Mittelwert der jeweiligen Kategorie, die Fehlerbalken den Standardfehler.

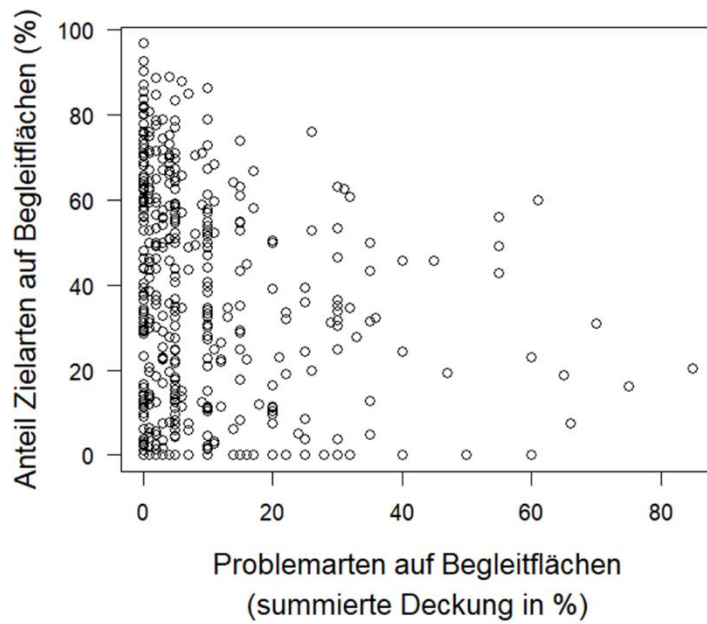


Abbildung 5. Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von Problemarten und dem Deckungsanteil von naturschutzrelevanten Zielarten auf den Begleitflächen.

Die Häufigkeit von Neophyten sank bei fortgesetztem zweimaligem Mulchen ($\chi^2_{1df} = 7.1$; $P = 0.007$), war jedoch unabhängig vom Mulchregime ($\chi^2_{3df} = 1.8$; $P = 0.60$; Abb. 6).

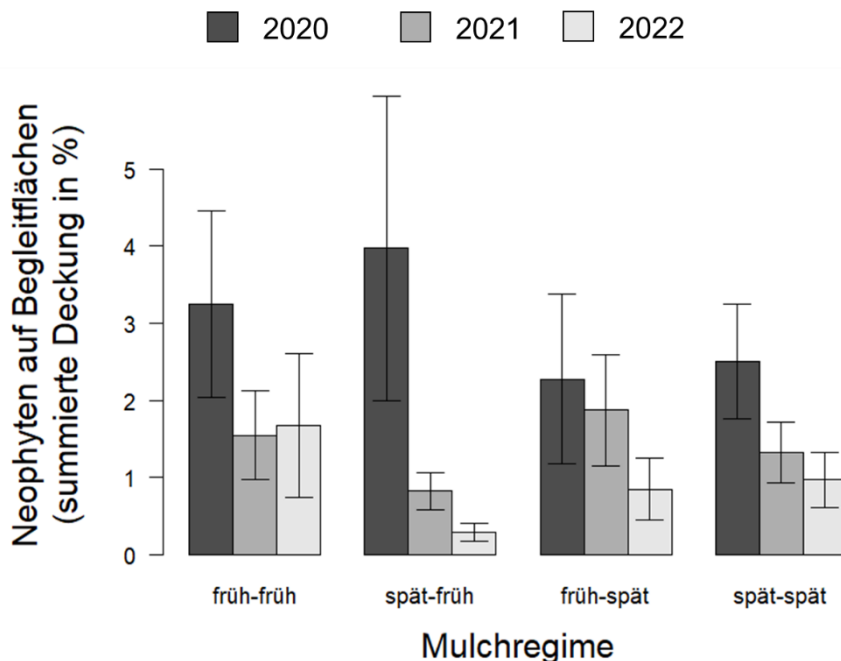


Abbildung 6. Effekt des Mulchregimes auf die Häufigkeit (summierte Deckung) von Neophyten in der Begleitvegetation. Die Balken zeigen den Mittelwert der jeweiligen Kategorie, die Fehlerbalken den Standardfehler.

Artenzusammensetzung der Bodensamenbank auf den Schienenbegleitflächen

Die Artenvielfalt war in den Vegetationsaufnahmen höher als in der Bodensamenbank. Der Sørensen-Index zur Erfassung der Ähnlichkeit zwischen Bodensamenbank und Vegetationsaufnahme ergab für alle Kategorien eine geringe Übereinstimmung, war aber für Problemarten am höchsten (Lepper, 2021).

In der Bodensamenbank fand sich nur eine zusätzliche Zielart und nur zwei Zielarten aus der Vegetationsaufnahme konnten in der Bodensamenbank gefunden werden. Von den Problemarten wurde keine zusätzliche Art in der Bodensamenbank gefunden, aber es konnten sechs Neophyten in der Bodensamenbank gefunden werden, die nicht in der Vegetationsaufnahme vertreten waren (Abb. 7).

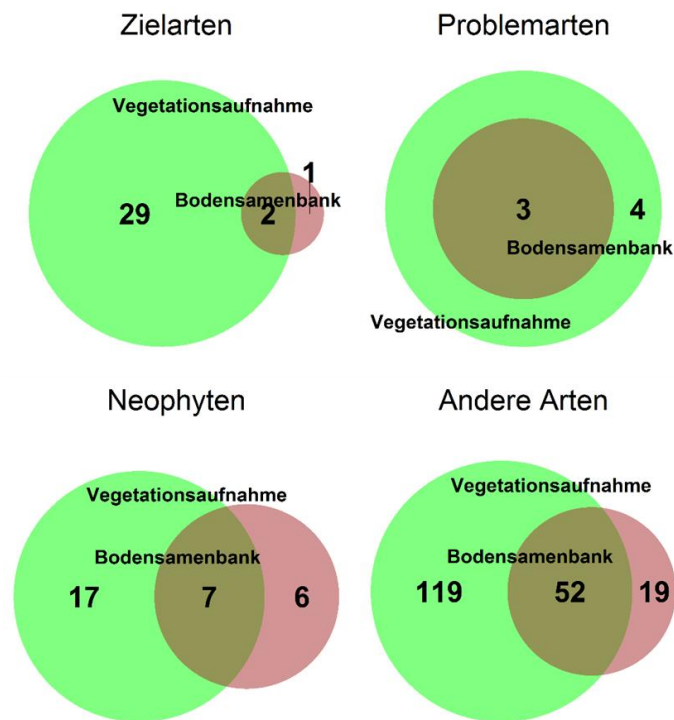


Abbildung 7: Venn-Diagramme, die für naturschutzrelevante Zielarten, Problemarten, Neophyten und andere Pflanzenarten die Überschneidung der Artenzusammensetzung von Bodensamenbank und Vegetationsaufnahmen auf den Schienenbegleitflächen anzeigen.

Etablierung ausgesäeter Samen

Grundsätzlich zeigten die ausgesäten Grasarten eine höhere Etablierungsrate als die ausgesäten krautigen Arten (Schäfer, 2021; Fink, 2022). Die Etablierungsrate ausgesäeter Samen wurde signifikant durch den Einzeleffekt der Mulchregime beeinflusst ($\chi^2_{3df} = 18.8$; $P < 0.001$) und war am höchsten bei spätem Erstmulchen (Abb. 8).

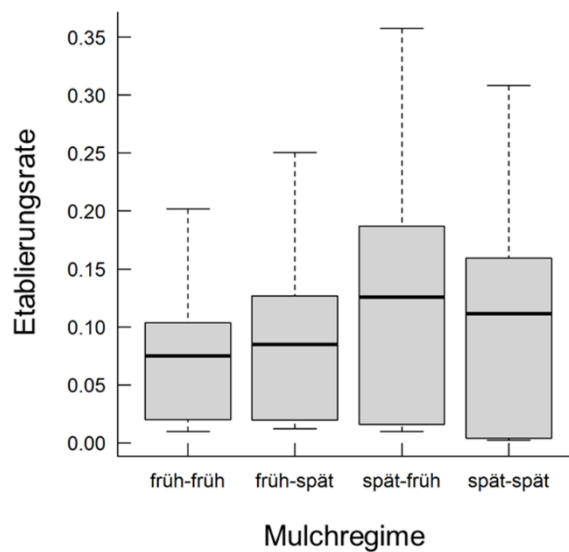


Abbildung 8: Effekt des Mulchregimes in der Begleitvegetation auf die Etablierungsrate ausgesäeter Samen von fünf naturschutzrelevanten Zielarten (*Arrhenatherum elatius*, *Festuca ovina*, *Poa angustifolia*, *Medicago lupulina* und *Stachys recta*).

5. Diskussion und Schlussfolgerung, weiter zu bearbeitende Fragen

Die Ergebnisse des dreijährigen Versuchs zeigen, dass eine Kombination aus spätem Erst- und spätem Zweitmulchen der Begleitflächen (in KW28/29 und KW38/39) den Vegetationsaufwuchs auf Schienenwegen erheblich reduziert (Abb. 2). Dieser Effekt ergibt sich dadurch, dass spätes Erst- und Zweitmulchen die Häufigkeit von Problemarten (Sträuchern, Schachtelhalm und Winden) auf den Begleitflächen reduziert (Abb. 3), was das vegetative Einwachsen dieser Arten auf den Schienenweg erschwert.

Zugleich haben Begleitflächen mit einer geringeren Häufigkeit von Problemarten einen höheren Anteil an naturschutzrelevanten Zielarten (Abb. 5). Der Anteil von Zielarten wurde durch konsequentes Mulchen zweimal pro Jahr deutlich gesteigert, auch wenn die Zeitpunkte des Mulchens *per se* – wie zu Projektbeginn erwartet – in der relativ kurzen Versuchslaufzeit noch keinen signifikanten Effekt auf diesen Anteil hatten (Abb. 4). Der potenzielle Beitrag der Bodensamenbank zur Erhöhung des Naturschutzwertes der Begleitflächen scheint gering: im Vergleich zu den Vegetationsaufnahmen enthielt die Bodensamenbank nur eine zusätzliche Zielart (Abb. 7). Dagegen können Zielarten durch Sameneintrag in gewissem Maße gefördert werden (Abb. 8).

Eine Umstellung des Mulchregimes könnte grundsätzlich auch die Keimung unerwünschter Arten aus der Bodensamenbank befördern. Dieses Risiko ist nach unseren Ergebnissen jedoch als gering einzuschätzen. Im Vergleich zu den Vegetationsaufnahmen fand sich in der Bodensamenbank keine weitere Problemart (Abb. 7). Dagegen fanden sich in der Bodensamenbank mehrere Neophyten, die oberirdisch nicht festgestellt wurden (Abb. 7). Allerdings wurden Neophyten durch alle Mulchbehandlungen effektiv kontrolliert (Abb. 5).

Auf Grundlage dieser Ergebnisse empfehlen wir Eisenbahngesellschaften die Kombination von spätem Erst- und spätem Zweitmulchen der Begleitflächen als eine effektive Option zur Reduktion des Vegetationsaufwuchses auf dem Schienenweg, die die Kosten herbizidfreier Kontrollmethoden bzw. den Herbizideinsatz bei punktueller Applikation senken sollte. Zugleich kann durch Reduktion von Problempflanzen der Naturschutzwert der Begleitflächen gesteigert werden. Für die SWEG dürfte die Umsetzung dieses Mulchregimes die Instandhaltungskosten nicht wesentlich erhöhen, da die Begleitflächen ohnehin zweimal pro Jahr gemulcht werden sollen. Bei großflächiger Umsetzung müssten die Mulchzeitpunkte gegebenenfalls an lokale Klimabedingungen bzw. Vegetationsentwicklung angepasst werden. Allerdings deckte der hier vorgestellte Versuch bereit einen erheblichen Teil der für Baden-Württemberg relevanten Klimavariation ab.

Die großflächige Anwendung angepasster Mulchregime hätte eine erhebliche Flächenwirksamkeit: das Schienennetz umfasst in Deutschland 38.400 km (Allianz pro Schiene, 2023) und in Baden-Württemberg 4.314 km (Statistisches Bundesamt, 2017). Unter der Annahme von beidseitig 1,5 m breiten Schienenbegleitflächen entspricht dies deutschlandweit ca. 115 km² und in Baden-Württemberg ca. 26 km² an Schienenbegleitflächen. Allein das Schienennetz der SWEG umfasst 210 km Länge und ca. 63 ha Begleitflächen. Durch ihre netzwerkartige Struktur können konsequent gemulchte Begleitflächen zudem einen wesentlichen Beitrag zum Biotopverbund im Offenland leisten, der über die reine Flächengröße nur unzureichend erfasst wird.

Aus unserem Versuch auf lokaler Skala ergibt sich eine Reihe wichtiger Fragen, die in Folgeprojekten untersucht werden könnte. (1) Zeigen sich dieselben Effektstärken, wenn das Mulchregime auf großen Streckenabschnitten umgesetzt wird? (2) In welchem Umfang können dadurch der Herbizideinsatz bzw. die Kosten von herbizidfreien Kontrollverfahren reduziert werden? (3) Welchen Beitrag leisten die Schienenbegleitflächen zum Biotopverbund im extensiv genutzten Offenland in Baden-Württemberg? (4) Kann die ökologische Schienenpflege durch Kontrolle von Problempflanzen (v.a. Gehölzen) in der Umgebung unterstützt werden? (5)

Kann der Naturschutzwert der Begleitflächen durch Mahdgutübertragung als relativ kosteneffiziente Methode des Sameneintrags erhöht werden? Um diese weitergehenden zu beantworten, empfiehlt sich die Kombination aus entsprechenden Versuchsbehandlungen auf größeren Schienenabschnitten mit der Analyse von Geodaten.

6. Veröffentlichungen/Öffentlichkeitsarbeit

- 1) Pressemitteilung 3.7.2020: <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-foerdert-forschungs-projekt-zur-oekologischen-pflege-an-bahnstrecken>
- 2) SWEG-Magazin 02/2020, S: 5: https://www.sweg.de/fileadmin/user_upload/pdf/sweg-magazine/sweg_magazin_2020_01.pdf
- 3) Schwäbisches Tagblatt, 25.8.2021: <https://www.tagblatt.de/Nachrichten/Auf-der-Oeko-Schiene-unterwegs-513882.html>
- 4) SWR Aktuell, Rundfunkbericht 4.10.2021: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/tuebingen/saubere-bahndaemme-ohne-glyphosat-100.html>

7. Literaturverzeichnis

Allianz pro Schiene (2023) Das Schienennetz in Deutschland. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/schienennetz>. Letzter Zugriff: 23.06.2023

Brandes, D. & Oppermann, F. (1995): Straßen, Kanäle und Bahnanlagen als lineare Strukturen in der Landschaft sowie deren Bedeutung für die Vegetation. Ber. d. Reinh.-Tüxen Ges. 7, 89-110.

Breunig, T. (2019) Vegetationskundliche Untersuchung und Dokumentation verschiedener Arten der Vegetationspflege an sechs Eisenbahnstrecken der SWEG Schienenwege GmbH. Gutachten im Auftrag der SWEG Schienenwege GmbH

Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Machler, M. & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. The R Journal, 9(2), 378– 400. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000240890>

Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). (2018). Auswirkungen von Glyphosat auf die Biodiversität: Positionspapier des Bundesamt für Naturschutz. Bonn.

- Büll, M., Treiber, R., Meinecke, R. & Ludemann, T. (2016) Einfluss des Mulchens auf Vegetation und Artenvielfalt von Lössböschungen im Kaiserstuhl. *Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg*, 78, 155-188.
- Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U. & Ssymank, A. (2017) Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands, Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg
- Fink, M. (2022) Establishment of five calcareous grassland species on railway verges. Bachelor Thesis, Universität Hohenheim
- Lambertz, B. & Schmidt, W. (2003) Veränderung der Straßenvegetation durch Pflegemaßnahmen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*. 867
- Lepper, J. (2021) Can species-rich grasslands along railways be restored from the soil seed bank? Bachelor Thesis, Universität Hohenheim
- Lutz, S. (2021) Mulching railway verges as a potential treatment for controlling problem plants and promoting biodiversity conservation. Master Thesis, Universität Hohenheim
- Niedersächsischer Landtag (2018) Drucksache 18/244, 18. Wahlperiode
- Nolte, M., Kister, N., & Maurer, M. (2018). Assessment of Deep Convolutional Neural Networks for Road Surface Classification. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 381–386. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569396>
- Penone, C., Machon, N., Julliard, R., & Le Viol, I. (2012). Do railway edges provide functional connectivity for plant communities in an urban context? *Biological Conservation*, 148(1), 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.041>
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramwell, C. T., Heather, A. I., & Shepherd, A. J. (2004). Herbicide loss following application to a railway. *Pest Management Science*, 60(6), 556–564. <https://doi.org/10.1002/ps.850>
- Schäfer, M. (2021) Möglichkeiten zur Steigerung des Naturschutzpotenzials von Schienenbegleitvegetation: Effekte des Mulch-Regimes auf die Etablierung von Magerrasenpflanzen. Bachelor Thesis, Universität Hohenheim
- Schreiber, K.-F., Brauckmann, H.-J., Broll, G., Krebs, S. & Poschlod, P. (2013) Artenreiches Grünland in der Kulturlandschaft. Verlag Regionalkultur.

- Schweinsberg, F., Abke, W., Rieth, K., Rohmann, U., & Zullei-Seibert, N. (1999). Herbicide use on railway tracks for safety reasons in Germany? *Toxicology Letters*, 107(1–3), 201–205. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(99\)00048-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(99)00048-X)
- Statistisches Bundesamt (2017). Schieneninfrastruktur – Streckenlänge nach Bundesländern. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Unternehmen-Infrastruktur-Fahrzeugbestand/Tabellen/schieneninfrastruktur.html>, Letzter Zugriff: 23.06.2023
- Tanner, L. (2022) Der Weg zum Glyphosatausstieg bei den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) – Erkenntnisse aus dem Aktionsplan "Alternative Vegetationskontrolle". Folien eines Vortrags am 29.09.2022
- Tikka, P. M., Högmander, H., & Koski, P. S. (2001). Road and railway verges serve as dispersal corridors for grassland plants. *Landscape Ecology*, 16(7), 659–666. <https://doi.org/10.1023/A:1013120529382>