



Grüner Teppich – gezielte Begrünung von Banketten und Randbereichen

Abschlussbericht 2018–2024

Markus van der Meer¹, Patrice Prunier², Julie Steffen², Laurent Huber², Fabienne Mörch², Pierre-André Frossard², Serge Buholzer¹

¹ Agroscope, Zürich-Reckenholz

² Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA), HES-SO Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale

Auftraggeber

SBB CFF FFS



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Weitere Partner



Otto
Hauenstein
Samen



Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	Serge Buholzer, serge.buholzer@agroscope.admin.ch
Übersetzung	Sprachdienst Agroscope
Fotos	Sofern nicht anders angegeben: Serge Buholzer, Markus van der Meer
Titelbild	Markus van der Meer
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2025
ISSN	AS : 2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as204g

Haftungsausschluss :

Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Zusammenfassung	5
Summary	6
Résumé	7
Riassunto	8
1 Einleitung	9
1.1 Hintergrund	9
1.2 Hypothesen	9
1.3 Machbarkeitsstudie und Versuchsanlage	10
1.4 Übersicht der Pflanzenmischungen	11
1.5 Übersicht der Standorte	12
2 Beobachtungen zu den Standortparametern	14
2.1 Im Gleisrandbereich verwendete Bodensubstrate	14
2.2 Die organische Substanz im Substrat	14
2.3 Die Bodentemperatur des Substrates	15
2.3.1 Resultate der Luft- und Bodentemperaturmessungen	15
2.3.2 Diskussion der Bodentemperaturmessungen	16
2.3.3 Schlussfolgerungen zu den Bodentemperaturmessungen	17
2.4 Niederschlagsverteilung	17
2.4.1 Auswertung der Wetterdaten	18
2.4.2 Schlussfolgerungen zu den Wetterdaten	18
2.5 Fazit: Lebensfeindliche Standortbedingungen	18
3 Keimversuche in der Klimakammer	19
3.1 Ziel	19
3.2 Versuchsmethode	19
3.2.1 Beobachtungen zum ersten Teil – hohe Temperaturen 19 °C	20
3.2.2 Bemerkungen zum zweiten Teil – niedrige Temperaturen 10–13 °C	20
3.3 Resultate zur Keimung der Mischungen	20
3.4 Diskussion der Resultate	22
3.5 Fazit zu den Klimakammerversuchen	22
4 Ansiedlung der Mischungen im Freiland	24
4.1 Methoden	24
4.1.1 Methodik der Vegetationsaufnahme	24
4.1.2 Deckungsschätzung und Auswertung der Daten	24
4.1.3 Sonderfall: Ex-situ-Versuchsanlage in Lullier	25
4.2 Resultate	27
4.2.1 Reaktion der Mischungen: Ansiedlung an den Standorten	27
4.2.2 Reaktion der Mischungen: Analysen der Deckung und der Zusammensetzung der Flora an allen Standorten	43
4.3 Fazit zur Ansiedlung	53
5 Projekterweiterungen	57
5.1 Sedum-Matten	57

5.2	Sollen Bryophyten nach den Erhebungen in Cousset und Le Landeron Teil der Aussaat bilden?	57
5.3	Synergie-Versuch in Seebach	59
6	Problemarten: Verdrängungspotential der Mischungen	61
6.1	Problematische Arten	61
6.2	Situation an den In-situ-Standorten	62
6.3	Fazit zum Verdrängungspotential	62
7	Betriebssicherheit	63
7.1	Sicherheitsrelevante Fragen	63
8	Biodiversität und Landschaftsbild	64
8.1	Förderung der Biodiversität	64
8.2	Wirkung auf das Landschaftsbild	65
9	Schlussfolgerungen	67
10	Ausblick – Umsetzung	68
11	Literaturverzeichnis	70
12	Abbildungsverzeichnis	74
13	Tabellenverzeichnis	75
14	Anhang	76

Zusammenfassung

Hintergrund: Das Schweizer Schienennetz umfasst etwa 5'300 Kilometer und gehört zu den am dichtesten ausgebauten Schienennetzen der Welt. Täglich werden bis zu 1.2 Mio. Passagiere und 1 Mio. Tonnen Güter transportiert. Die Ansprüche an die Bahninfrastruktur bezüglich Sicherheit und Funktionsfähigkeit im dichten Fahrplan sind enorm und bedingen hohe Standards und regelmässige Kontrollen. Bis in die jüngere Vergangenheit wurden deshalb die Bahnanlagen mittels gezielten Herbizidanwendungen möglichst flächendeckend frei von jeglichen Pflanzen gehalten. Aufkommende Umweltbedenken und insbesondere die Diskussionen über die Umwelt- und Gesundheitsrisiken des eingesetzten Herbizid-Wirkstoffs 'Glyphosat' haben zu einer Praxisanpassung bei den Bahnbetreibern geführt. Die Schweizerische Bundesbahnen (SBB) haben als grösstes Bahnunternehmen in der Schweiz deshalb entschieden, die eingesetzte Herbizidmenge dank differenzierter Einzelpflanzenapplikation zu reduzieren und mit einem Aktionsplan «NoHerbie – Alternativen zu Herbiziden» nach technisch-baulichen und mechanisch-thermischen Massnahmen für einen Verzicht auf chemisch synthetische Herbizide zu suchen.

Methodik: Agroscope untersuchte zusammen mit der Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA) im Projekt „Grüner Teppich“ (2019–2023), ob die gezielte Begrünung von Banketten und Gleisrandbereichen chemische Herbizide wie Glyphosat ersetzen können. Ziel war die Etablierung einer Vegetationsdecke, die Problempflanzen verdrängt, die Sicherheit der Bahninfrastruktur gewährleistet und die Biodiversität fördert. Es wurden 5 verschiedene Pflanzensamenmischungen an 6 Standorten auf Banketten und Zwischengleisbereichen in der Schweiz und in Frankreich und an einem Standort auf einem Flachdach getestet. Die Ansaaten erfolgten auf verschiedenen Kiesunterlagen.

Resultate: Im Versuch konnte gezeigt werden, welche Arten bzw. Mischungen sich für die Begrünung von Zwischen- und Gleisrandbereichsflächen eignen. Für die erfolgreiche Etablierung ist der Gehalt an organischer Substanz, die sich erst im Laufe der Jahre auf den sehr mageren Kiesböden ansammelt, von grosser Bedeutung. Zwei Mischungen, eine polyvalente (TV2) und eine ruderale Mischung (RR), erreichten nach fünf Jahren auf geeignetem Bodensubstrat eine mittlere Bodenbedeckung von mehr als 70 % mit gesäten und spontan aufkommenden Arten. Mit der Ansaat der Mischungen wird die Artenvielfalt durchschnittlich um 5 Arten erhöht. Der Deckungsanteil an Problempflanzen blieb während der Untersuchungsperiode gering. Er hängt stark von der Umgebung ab – insbesondere rankende Arten aus angrenzenden Böschungen und vom Wind verbreitende Arten konnten sich ansiedeln. Die Arten in den eingesetzten Samenmischungen erfüllten die Ansprüche an die Sicherheit. Ein 'Grüner Teppich' im Gleisrandbereich kann erfolgreich angelegt werden, aber er wird den Unterhaltsaufwand kaum reduzieren.

Schlussfolgerung: Die Begrünung im Gleisrandbereich ist eine realistische Alternative zur Herbizidanwendung. Die Ergebnisse bieten eine Grundlage für ökologischere Alternativen im Bahnunterhalt, sie erfordern jedoch eine langfristige Optimierung und werden auch Pflegeaufwand verursachen. Zukünftige Ansätze könnten die Kombination von mechanischen, chemischen und biologischen Strategien umfassen, um eine optimale Nachhaltigkeit zu erreichen.

Summary

Background: The Swiss rail network covers 5,300 kilometres and is one of the densest rail networks in the world. It carries up to 1.2 million passengers and 1 million tonnes of freight each day. This tight scheduling places enormous demands on the rail infrastructure in terms of safety and functionality and requires high standards and regular inspections. Until recently, targeted herbicide applications were very extensively used to keep the railway tracks and surrounding areas free from vegetation. Growing environmental concerns and more specifically, discussions about the environmental and health risks associated with the herbicide active substance glyphosate, have caused rail operators to rethink their approach. As the largest rail operator in Switzerland, the Swiss Federal Railways (SBB) have decided to reduce the amount of herbicide used by targeting individual plants and to investigate mechanical and thermal measures to replace synthetic herbicides through the Alternatives to Herbicide Action Plan.

Methodology: Agroscope together with the *Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève* (HEPIA) launched the *Grüner Teppich* (Green Carpet) project (2019–2023) to investigate whether the targeted greening of verges and peripheral areas could replace the use of chemical herbicides like glyphosate. The aim was to establish a vegetation cover that suppressed problem plants, maintained the safety of rail infrastructure and promoted biodiversity. Five different plant seed mixes were tested on verges and areas between the tracks at six locations in France and Switzerland and one site on a flat roof. The seeds were sown on different gravel substrates.

Results: The trial was able to show which species and mixes are suitable for greening the verges and areas between the tracks. Critical to successful establishment is the organic matter content, which takes a number of years to accumulate in the very poor gravelly soils. After five years on a suitable soil substrate, two mixes – a polyvalent (TV2) and a ruderal mix (RR) – achieved an average soil cover of more than 70% comprising sown and spontaneously seeded species. Species diversity increased by five species on average after the sowings. The percentage cover of problem plants remained low throughout the study period. This is heavily dependent on environmental factors – with scrambling and trailing species from adjacent embankments and species dispersed by the wind able to become established. The species in the seed mixes met the requirements for safety. A 'green carpet' can be successfully created at the edges of the track but will do little to reduce track-side maintenance.

Conclusions: Track-side greening is a realistic alternative to the use of herbicides. The results provide a basis for greener track maintenance options. However, they need optimisation in the long term and will themselves require a certain level of upkeep. Future approaches could involve a combination of mechanical, chemical and biological strategies to ensure optimal sustainability.

Résumé

Contexte: Le réseau ferroviaire suisse s'étend sur environ 5300 kilomètres et compte parmi les réseaux les plus denses au monde. Chaque jour, ce ne sont pas moins de 1,2 million de passagers et 1 million de tonnes de marchandises qui sont transportés par le train. Les exigences en matière de sécurité et de fonctionnement de l'infrastructure ferroviaire sont énormes, compte tenu de la densité de l'horaire et présupposent des normes élevées et des contrôles réguliers. Jusqu'à récemment, la plupart des voies ferrées étaient donc maintenues exemptes de toute végétation sur l'ensemble du réseau suisse grâce à des applications ciblées d'herbicides. Les préoccupations environnementales émergentes et en particulier les discussions sur les risques environnementaux et sanitaires de la substance active des herbicides utilisés, le «glyphosate», ont conduit les exploitants ferroviaires à adapter leurs pratiques. Les Chemins de Fer Fédéraux (CFF), la plus grande entreprise ferroviaire de Suisse, ont donc décidé de réduire la quantité d'herbicides utilisée grâce à une application différenciée par plante et, avec un plan d'action «NoHerbie – Alternatives aux herbicides», de mettre en place des mesures technico-structurelles et thermo-mécaniques permettant de renoncer aux herbicides chimiques de synthèse.

Méthodologie: En collaboration avec la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (Hepia), Agroscope a étudié dans le cadre du projet « Tapis vert » (2018-2024) dans quelle mesure la végétalisation ciblée des banquettes et des abords de voies pouvait remplacer les herbicides chimiques comme le glyphosate. L'objectif était d'implanter une couverture végétale qui évince les plantes problématiques, garantit la sécurité de l'infrastructure ferroviaire et favorise la biodiversité. Cinq mélanges de graines de plantes différents ont été testés sur six sites d'essai (des banquettes et des entre-voies) en Suisse et en France ainsi que sur un toit plat. Les mélanges ont été semés sur différents supports en gravier.

Résultats: L'essai a permis de montrer quelles espèces ou quels mélanges se prêtent le mieux à la végétalisation des entre-voies et des abords de voies. La teneur en matière organique, qui ne s'accumule que lentement au fil des ans sur les sols recouverts de gravier très pauvres, est importante pour la réussite de l'implantation. Deux mélanges, un mélange polyvalent (TV2) et un mélange rudéral (RR), ont atteint après cinq ans, sur un substrat de sol approprié, une couverture moyenne du sol de plus de 70% avec des espèces semées et spontanées. Les mélanges permettent d'augmenter la diversité des espèces de cinq espèces en moyenne. Le taux de couverture par des plantes problématiques est resté faible pendant la période d'essai. Il dépend fortement de l'environnement - des espèces grimpantes provenant des talus situés à proximité et des espèces dispersées par le vent ont notamment pu s'implanter. Les espèces présentes dans les mélanges utilisés ont satisfait aux exigences en matière de sécurité. Un « tapis vert » en bordure de voie peut certes être mis en place avec succès, mais il ne réduira guère les frais d'entretien.

Conclusion: La végétalisation des abords de voies est une alternative réaliste à l'utilisation d'herbicides. Les résultats obtenus constituent une base pour mettre en place des alternatives plus écologiques dans l'entretien des voies ferrées, mais ils nécessitent une optimisation à long terme et entraîneront également des coûts d'entretien. Les approches futures pourraient inclure la combinaison de stratégies à la fois mécaniques, chimiques et biologiques afin d'atteindre une durabilité optimale.

Il existe une version complète de cette publication en français : <https://doi.org/10.34776/as204f>

Riassunto

Contesto: La rete ferroviaria svizzera si estende per circa 5300 chilometri ed è una delle più sviluppate del mondo. Ogni giorno trasporta fino a 1,2 milioni di passeggeri e un milione di tonnellate di merci. I requisiti di sicurezza e funzionalità dell'infrastruttura ferroviaria, in presenza di una tabella oraria intensa, sono enormi e richiedono standard elevati e controlli regolari. Per questo motivo, fino a poco tempo fa, si faceva ricorso a trattamenti mirati con erbicidi per mantenere l'infrastruttura ferroviaria libera dalla vegetazione. Di fronte alle crescenti preoccupazioni ambientali e in particolare alle discussioni sui rischi ambientali e sanitari legati al glifosato, un principio attivo erbicida, gli operatori ferroviari hanno rivisto le loro pratiche. Le Ferrovie federali svizzere (FFS), la più compagna ferroviaria del Paese, hanno quindi deciso di ridurre l'uso di erbicidi tramite un impiego selettivo sulle singole specie vegetali e, con il piano d'azione «NoHerbie – alternative agli erbicidi», di ricorrere a misure tecniche/strutturali e meccaniche/termiche per evitare l'uso di erbicidi chimici di sintesi.

Metodologia: Nell'ambito del progetto «Grüner Teppich» (2019–2023), condotto in collaborazione con l'Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA), Agroscope ha analizzato se il rinverdimento mirato dei bordi delle massicciate e delle fasce laterali dei binari potesse costituire un'alternativa efficace agli erbicidi chimici come il glifosato. L'obiettivo era creare una copertura vegetale capace di eliminare le piante problematiche, garantire la sicurezza dell'infrastruttura ferroviaria e favorire la biodiversità. In 6 località in Svizzera e Francia sono state testate 5 diverse miscele di sementi di piante sui bordi delle massicciate e sulle intervie dei binari, mentre in una località il test è stato eseguito su un tetto piano. La semina è avvenuta su diversi substrati in ghiaia.

Risultati: Il test ha permesso di individuare quali specie e miscele di sementi risultano più adatte per il rinverdimento delle intervie e dei bordi delle massicciate. Perché il rinverdimento abbia successo, è fondamentale il contenuto di sostanza organica, che nei terreni ghiaiosi molto poveri si accumula solo nel corso di più anni. Due miscele, una polivalente (TV2) e una ruderale (RR), hanno raggiunto una copertura media del suolo di oltre il 70 % dopo cinque anni, includendo sia le specie seminate che quelle spontanee, su un substrato adatto. La semina delle miscele consente in media un incremento della biodiversità pari a cinque specie. Durante il periodo del test, la copertura da parte di piante infestanti è rimasta bassa. Tuttavia, essa dipende molto dall'ambiente circostante: in particolare, sono riuscite a insediarsi specie rampicanti provenienti dai terrapieni vicini e specie trasportate dal vento. Le specie contenute nelle miscele di sementi utilizzate rispettavano i requisiti di sicurezza. Realizzare un «tappeto verde» nell'area adiacente i binari è possibile, ma difficilmente questo potrà ridurre in modo significativo gli oneri di manutenzione.

Conclusione: L'inverdimento delle aree adiacenti ai binari rappresenta una valida alternativa all'impiego di erbicidi. I risultati ottenuti offrono una base per sviluppare soluzioni più ecologiche nella manutenzione ferroviaria, ma richiedono ottimizzazioni a lungo termine e comportano oneri di manutenzione. Gli approcci futuri potrebbero includere una combinazione di strategie meccaniche, chimiche e biologiche per ottenere una sostenibilità ottimale.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Im Bahnverkehr wurde im Gleisbereich jahrzehntelang eine Null-Vegetation Strategie verfolgt; in erster Linie, um die Nutzungsdauer der Fahrbahn nicht zu reduzieren, die Unterhaltskosten der Fahrbahn nicht zu erhöhen und um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Insbesondere sind die Gleisstabilität und die uneingeschränkte Funktionsfähigkeit der Bahninfrastruktur (z.B. Weichen, Signale oder Fahrleitungen) zu erhalten und die Sicherheit des Bahnpersonals und der Passagiere zu gewährleisten.

Die für die Vegetationskontrolle genutzten Produkte haben sich im Lauf der Jahrzehnte von Bodenherbiziden mit breiter Wirkung in selektivere Blattherbizide gewandelt und die Gesamtmenge eingesetzter Herbizide ist grundsätzlich gesunken respektive rückläufig [1-4]. Glyphosat ist das seit Beginn der 1990er Jahre weltweit meisteingesetzte Herbizid. Es ist heute, nach dem Atrazin-Verbot, in der Schweiz das einzige zugelassene Herbizid im Gleisbereich. Es geriet jedoch in den Verdacht, krebserregend zu sein. Dies erzeugte eine breite öffentliche, politische und wissenschaftliche Diskussion über die Gefahr von Glyphosat für Menschen und Umwelt [5-7]. Im November 2023 wurde die Weiterverwendung dieses systemisch wirkenden Herbizides durch die EU-Kommission auf Zusehen und mit Auflagen bis 2033 bewilligt [8].

Viele Eisenbahnunternehmen weltweit gehören zu den grössten nationalen Einzelverbrauchern von Herbiziden. Sie sind deshalb an der Forschung zu nachhaltigen Kontroll- und Pflegemethoden interessiert [9-15]. Im Zuge der kontroversen Diskussion um Glyphosat hat zum Beispiel die Französische Staatsbahn SNCF schon per 01.01.2022 und die Deutsche Bahn ab 2023 freiwillig auf dessen Verwendung verzichtet [16-19]. Die Schweizerische Bundesbahnen (SBB) haben im Jahr 2018 den Aktionsplan «Alternativen Herbizid (NoHerbie)» ins Leben gerufen. Im Rahmen dieses Aktionsplans werden von der SBB zahlreiche Anstrengungen unternommen, um Alternativen zu fördern und den Einsatz von chemischen Mitteln auf ein absolutes Minimum zu begrenzen. Glyphosat soll möglichst nur noch in Ausnahmefällen durch gezielte Einzelpflanzenbehandlungen angewendet werden. In der Region «Mitte» wurde in den Jahren 2023 und 2024 in einem Pilotprojekt auf den Einsatz von Herbizid verzichtet, stattdessen kamen mechanische Massnahmen zur Vegetationskontrolle zur Anwendung. Zudem soll im Gleisrandbereich mehr Vegetation toleriert werden.

Sowohl die SBB wie auch die SNCF führten Studien und Praxisversuche zu technisch-baulichen und mechanisch-thermischen Methoden [20] sowie alternativen Herbiziden [21] durch. Im Bereich von Abstellgleisen und Bahnböschungen setzt die SNCF auch erfolgreich eine Beweidung durch Schafe, Ziegen und Ponys ein [22, 23]. Frei nach dem Motto «Lenken statt Bekämpfen» wurde von beiden Unternehmen auch eine Begrünung, [24], zumindest von Teilbereichen entlang der Gleise, ins Auge gefasst. Nach bestem Kenntnisstand sind dies die bislang ersten Begrünungsversuche, die im Gleisbereich von Bahnunternehmen durchgeführt wurden.

1.2 Hypothesen

Es wurden folgende Projektziele definiert:

Erfolgreiche Ansiedlung der für das Projekt entwickelten Saatgutmischung: Haben sich die einheimischen Arten in der Mischung erfolgreich an den besonderen Standorten in den Gleisrandbereichen, besonders im Zwischengleisbereich und auf den Banketten, angesiedelt?

Frage 1: Hat die Aussaat einen Einfluss auf die Vegetationsdecke?

Hypothese 1: Die Aussaat hat einen signifikanten Einfluss auf die Vegetationsdecke.

Frage 2: Wirken einige der angesäten Mischungen im Projektzeitraum stärker deckend als andere?

Hypothese 2: Die aus der ersten Versuchsreihe hervorgehende artenreichere Mischung TV2 ist am besten geeignet.

Frage 3: Wie schnell etablieren sich die Mischungen?

Hypothese 3: Die Vegetationsdecke erreicht in 5 Jahren mindestens 50 %, d. h. sie nimmt pro Jahr um ca. 10 % zu.

Frage 4: Hat die Aussaat einen Einfluss auf die Artenvielfalt?

Hypothese 4: Die Aussaat hat einen Einfluss auf die Pflanzenartenvielfalt.

Frage 5: Welche angesäten und spontanen Arten (problematische oder unproblematische Pflanzen) entwickeln sich überwiegend?

Hypothese 5: Gemäss den Experimenten auf begrünten Dächern entwickeln sich überwiegend ubiquitäre Arten wie *Achillea millefolium*, *Anthyllis carpatica*, *Lotus corniculatus* sowie xerotolerante Arten wie *Bromus erectus*, *Dianthus carthusianorum* und *Sedum* spp.

Erfolgreiche Verdrängung von Problemarten dank der für das Projekt entwickelten Artenmischung: Hemmen oder verhindern die einheimischen Pflanzen bei erfolgreicher Ansiedlung die Entwicklung von spontaner Vegetation und besonders von unerwünschten Arten und invasiven Neophyten?

Frage 6: Welche Auswirkungen haben die Saatgutmischungen auf die Entwicklung von Problemarten?

Hypothese 6: Die Aussaat hat einen signifikanten Einfluss auf die Deckung der Problemarten.

Frage 7: Welche Problemarten können sich gegebenenfalls entwickeln?

Hypothese 7: Die Reaktionen auf den Dächern und die direkten Beobachtungen zeigen, dass Arten wie *Lactuca serriola*, *Chenopodium album*, *Erigeron annuus*, *Equisetum* spp. und *Rubus* spp. sich einfach entlang der Gleise ansiedeln.

Frage 8: Welche Unterhaltsmethoden sind gegebenenfalls anzuwenden?

Hypothese 8: Es wird empfohlen, regelmässig zu mähen/zu mulchen.

Wachstumsbedingungen für den Pflanzenteppich auf den Banketten der SBB: Begünstigt das an organischer Substanz reiche frische Substrat die Ansiedlung der Vegetation?

Frage 9: Wie wirken sich Umweltfaktoren auf die Deckung aus?

Hypothese 9: Ein an organischem Material reiches, mächtiges Substrat sowie regelmässige Regenfälle begünstigen die Ansiedlung von Pflanzen unabhängig von deren Herkunft.

Zu beachtende Sicherheitsaspekte für einen sicheren Eisenbahnbetrieb:

Frage 10: Sind die Sicherheitsaspekte bei erfolgreicher Ansiedlung der Saatgutmischungen gewährleistet?

Hypothese 10: Die Kriterien der Betriebssicherheit (gute Begehrbarkeit, geringe Wuchshöhe und Wurzeltiefe, keine Stolperfallen, keine Einschränkung der Sichtbarkeit von Signalen, Gewährleistung der uneingeschränkten Gleisentwässerung) sind bei erfolgreicher Ansiedlung der Saatgutmischungen erfüllt.

1.3 Machbarkeitsstudie und Versuchsanlage

Dem Vorhaben, eine Begrünung zu testen, ging seitens der SBB eine Machbarkeitsstudie durch Agroscope voraus, in der die Rahmenbedingungen, die Anforderungen an eine Begrünung und das Versuchsdesign festgelegt wurden. Der Bericht zur Machbarkeitsstudie [25] schildert diesen Prozess ausführlich und enthält eine Fotogalerie unterschiedlicher Standorte (Bankette und Gleisrandbereiche).

Als mögliche Bereiche für die Umsetzung einer Begrünung in der Schweiz wurden Bankette, Zwischengleisbereiche, Unterhaltswege und Randbereiche definiert, da dort mehr Vegetation toleriert werden kann. Die Gleise und Schotterflanken sind zwingend vegetationslos zu halten (Abb. 1).

Um eventuell rasch auftretenden Sicherheitsmängeln vorzubeugen, wurde nach den ersten beiden Versuchsjahren eine Zwischenevaluation durchgeführt und publiziert [26]; dort werden die Methodik der Versuchsanlage, die entwickelten Mischungen, die Probenahme-Verfahren, sowie Resultate zu den Substratanalysen detailliert beschrieben, weshalb sie in diesem Bericht nur summarisch beschrieben werden. Weiter wurden während der Projektlaufzeit einige Projektergänzungen vorgeschlagen und umgesetzt.

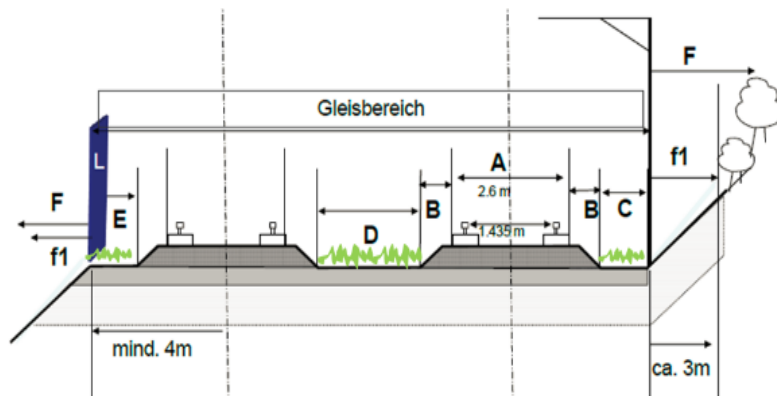


Abbildung 1: Gleisbereiche in denen eine Begrünung möglich ist.

A und B: Schotter

C: Bankett / Gehweg für Personal (60 cm bis > 100 cm)

D: Zwischengleis / Gehweg

E: Bankett entlang Lärmschutzwand (L) / Fluchtweg für Reisende

F: Böschung

Im vorliegenden Bericht werden die Resultate der gesamten Versuchsperiode von 2019 bis 2023 besprochen und mit den Zwischenresultaten verglichen. Die Resultate der Projektergänzung «Sedum-Matten» werden nur summarisch angesprochen und separat publiziert [27]. Insgesamt fanden die Versuche an acht Standorten (siehe Abschnitt 1.4) in unterschiedlichen Gleisbereichen statt. Ausschlaggebende Kriterien für die Wahl der Standorte waren die Lage im Mittelland, da sich dort das dichteste Schienennetz befindet, die Erreichbarkeit, die Zugänglichkeit, die Sicherheit für die Untersuchenden sowie eine geeignete Grösse und ein möglichst homogenes Boden-Substrat.

Während des laufenden Versuches waren keinerlei Unterhaltsmassnahmen, weder mit Glyphosat noch durch Mahd oder Jäten, geplant. Zweck war, die Entwicklung der Ansaaten und ihre Wirkung auf die spontane Vegetation störungsfrei erfassen zu können. Dies ist mit zwei Ausnahmen gelungen. An einem Standort wurden teilweise die Ansaaten durch Bauarbeiten der Gleis- und Schottererneuerungen gestört und im letzten Versuchsjahr wurden entgegen der Vereinbarungen mit dem Unterhaltsdienst an zwei Standorten die Versuchspartzen gemäht.

Anhang 1 A-H bietet einen Überblick der an jedem Standort getesteten Verfahren, erhobenen Parameter und besonderen Vorkommnisse. Die Versuchsanlage wird in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Versuchsstrategie wurde in Zusammenarbeit mit der SBB und mehreren Partnern [HEPIA, Info Flora, fenaco Genossenschaft (UFA Samen), Otto Hauenstein Samen (OHS)] entwickelt und umgesetzt [25, 28].

Diese Studie wurde durch das Bundesamt für Verkehr (BAV) mitfinanziert.

1.4 Übersicht der Pflanzenmischungen

Es wurden einheimische Arten identifiziert, welche die Sicherheits- und ökologischen Ansprüche voraussichtlich erfüllen [25]. Nach Prüfung der Saatgut-Verfügbarkeit wurden vier naturnahe Mischungen aus einheimischen Ökotypen dieser Arten zusammengestellt. Alle Mischungen wurden von Hand ausgebracht (Anhang 1 F). In Anhang 2 sind alle verwendeten Arten und die Mischungszusammensetzung aufgeführt. Die Vegetationserhebungen (Dichte und Vorkommen) fanden jeweils im Frühjahr und/oder Herbst statt. Die Mischungen werden wie folgt charakterisiert und nach dem Modell von Grime [29] drei Strategie-Typen zugeordnet (c, r und s; Abb. 2):

1. **RR:** Mischung aus 21 ruderalen Pionierarten. Diese Mischung lehnt sich an die Pionier-Pflanzengesellschaften *Bromo-Erigeretum canadensis* (Knapp) Gutte 1961 und *Vulpium myuri* Philippi 1973 an, die sich spontan aber kurzlebig auf stark anthropogen geprägten Substraten entwickeln. / Test auf 5 Standorten.

- SS:** Mischung aus 23 Arten, die Trockenheitsstress tolerieren. Vorbild dieser Mischung ist das *Xerobrometum erecti* Br.-Bl. 1915 em. 1931. Dies ist eine semi-natürliche Trockenrasen-Gesellschaft, die gerne auf steinigem und filtrierenden Substraten wächst. / Test auf 5 Standorten.
- CSR:** polyvalente Mischung aus 36 Arten mit breitem ökologischem Spektrum ergänzt durch stresstolerante dynamische Pionierarten. Grundlage dieser Mischung ist das *Mesobromion* Zoller 1954, welches halbtrockene Wiesengesellschaft am Fusse des Juras und der Alpen bildet. / Test auf 5 Standorten.
- CC:** Mischung aus 22 Arten mit hoher Konkurrenzfähigkeit. Diese Mischung wird inspiriert durch eine im Schweizer Mittelland weit verbreitete Wiesengesellschaft, das *Trifolium-Lolium* Dietl 1983; allerdings wächst sie eher auf nährstoffreichen Braunerden. / Test auf 5 Standorten.
- TV2,** «Tapis Vert 2^{ème} génération»: Diese Mischung wurde 2021 aus den 46 bislang erfolgreichsten Arten der obigen vier Mischungen zusammengestellt [26]. Ökologisch besitzt sie ubiquitäre Eigenschaften, die ihr erlauben, sich an verschiedenste Umwelteigenschaften anzupassen und sich rasch zu verbreiten; daher reagiert sie flexibel auf unterschiedlichste Standortbedingungen. / Test auf 7 Standorten.
- KT:** nicht angesäte Kontrollplots, auf denen sich spontane Vegetation etabliert.

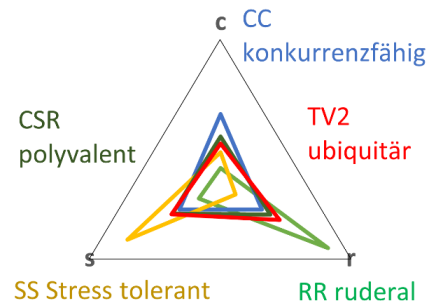


Abbildung 2: Dreieck der primären ökologischen Strategien (nach Grime et al.)

1.5 Übersicht der Standorte

Das übergeordnete SBB-Projekt «Alternativen Herbizid» setzte einen engmaschigen Zeitplan, der für Feldversuche zur Begrünung sehr knapp bemessen war. Die Entwicklung der mit den Mischungen angestrebten Pflanzengemeinschaften kann unter natürlichen Bedingungen auf den stark austrocknenden und sich erheizenden Substraten bis zur dauerhaften und konkurrenzstarken Etablierung mehrere Jahre dauern. Die Lebensdauer der Nebengleisbereiche beträgt mehrere Jahrzehnte, in denen die Begrünungen den vorgegebenen Ansprüchen genügen sollten. Die Gesamtlaufzeit des Projektes war mit fünf Jahren (2019 – 2023) also eher knapp bemessen. Zu Beginn des Projektes stand die Idee, Bankette entlang des Schienennetzes der SBB zu begrünen. Da es schwierig war, für Versuche geeignete Bankette ausreichender Länge zu finden, wurde auf Zwischengleisbereiche in Bahnhofsarealen ausgewichen.

Aus einer Reihe von Bahnhöfen und Gleisstrecken wurden in der Schweiz sechs geeignete in-situ Standorte gewählt (heterogene Bedingungen) und Untersuchungen auf einer ex-situ Dachanlage (semi-kontrollierte Bedingungen) sowie in einer Klimakammer (kontrollierte Bedingungen) durchgeführt. Ergänzend wurde eine Pflanzenmischung in Frankreich am Versuchsstandort der SNCF ausgebracht (Abb. 3).

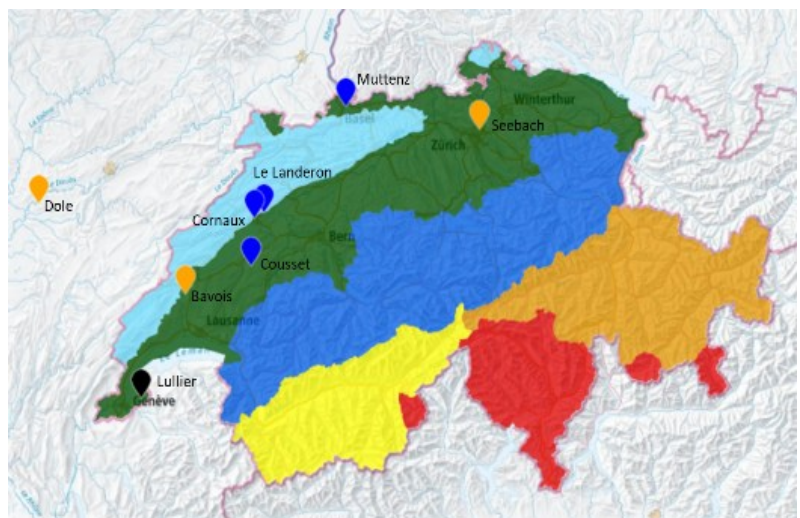


Abbildung 3: Lage der Versuchsstandorte im Schweizer Mittelland (grüne biogeographische Zone):
Blau: Hauptstandorte; orange: Nebenstandorte; schwarz: ex-situ Untersuchungen

Alle Freiland-Plots waren 15 m² gross, ausgenommen in Seebach, wo für den Tastversuch eine Fläche von 5 m² pro Plot ausreichend schien und in Dole, wo das Versuchsdesign der SNCF mit einer Plotgrösse von 80 m² übernommen wurde. An jedem Standort wurden mehrere Wiederholungen angelegt, standortbedingt in variabler Anzahl und mit verschiedenen Grundmassen. Anhang 1 A-G bietet eine Übersicht der Versuchsanlage und der erhobenen Parameter an den jeweiligen Standorten.

Hauptuntersuchung ab 2019

- Ein in-situ Standort im Zwischengleisbereich «E» (Abb. 1): **Cousset**, 4 Mischungen, 8 Wiederholungen
- Zwei in-situ Standorte auf einem breiten Bankett (>100 cm):
 - **Muttenz** im Zwischengleisbereich «C» (Abb. 1), 4 Mischungen, 8 Wiederholungen und
 - **Le Landeron** im Zwischengleisbereich «E» (Abb. 1), 4 Mischungen, 8 Wiederholungen
- Ein in-situ Standort im Zwischengleisbereich «D» und im Gleis «A» (Abb. 1): **Dole (F)**, SNCF, 1 Mischung, 3 Wiederholungen
- Ein in-situ Standort auf einem schmalen Bankett «E» (Abb. 1) (< 60 cm): **Bavois**, 2 Mischungen, 5 Wiederholungen
- Ein ex-situ Flachdach unter semi-kontrollierten Bedingungen: **Lullier**, 5 Mischungen, 3 Wiederholungen
- Eine ex-situ Klimakammer unter kontrollierten Bedingungen: Lullier

Projektergänzungen

- 2021: Ein in-situ Standort im Zwischengleisbereich «D» (Abb. 1): **Cornaux**, 1 Mischung, 6 Wiederholungen
- 2021: Tastversuch mit Sedum-Matten im Zwischengleisbereich «A, C und D» (Abb. 1) an den Standorten **Muttenz, Cousset, Cornaux**
- 2022: Ein in-situ Standort im Zwischengleisbereich «D» (Abb. 1): Keimerfolg auf Moosen: Seebach, 1 Mischung, 3 Wiederholungen

Tabelle 1: Übersicht der Versuchsanlage

Ort	Versuchs-Standort	Gleisbereich	Anzahl Wiederholungen	Anzahl Mischungen, Mischungstyp, Saatjahr und Beobachtungsdauer						Vegetationsaufnahmen				
				KT	RR	SS	CSR	CC	TV2	2019	2020	2021	2022	2023
Cousset	in situ	D	8	19-23	19-23	19-23	19-23		21-23	qt/ql	qt/ql	qt/ql	qt/ql	qt/ql
Le Landeron	in situ	D	8	19-23	19-23	19-23	19-23		21-23	qt/ql	qt/ql	qt/ql	qt/ql	qt/ql
Muttenz	in situ	C	8	19-23	19-23	19-23	19-23	19-20	21-23	qt/ql	qt/ql	qt/ql	ql	ql
Cornaux	in situ	D	6	21-23					21-23			qt/ql	qt/ql	qt/ql
Bavois	in situ	E	5	19-22				19-20	21	qt/ql	qt/ql	qt/ql	ql	
Dole (F)	in situ	A-E	3					19-23					qt/ql	
Lullier	ex situ	EXP	3	20-23	20-23	20-23	20-23	20-23	21-23		ql	qt/ql	qt/ql	qt/ql

Abkürzungen: Gleisbereiche - A&B Schotter, C&E Bankett, D Zwischengleis, F Böschung, EXP experimentelle Dachanlage; *Mischungen* – KT Kontrolle, RR ruderal, SS stresstolerant, CSR polyvalent, CC konkurrenzfähig, TV2 ubiquitär; *Vegetationsaufnahmen*: qt quantitativ, ql qualitativ. *Graue Felder*: Kein Versuch, respektive keine Erhebung durchgeführt.

2 Beobachtungen zu den Standortparametern

Im vorliegenden Versuch wurden nur in der Schweiz heimische Pflanzenarten für die Ansaat verwendet, die gut mit tiefen Temperaturen umgehen können. Deshalb wird in der folgenden Besprechung der winterliche Kälteaspekt nicht vertieft, da er sich allenfalls durch ein mechanisches Anheben von jungen Herbstsämlingen aus ihrer tatsächlichen Position durch Eis auswirken würde. Die folgende Auswertung konzentriert sich auf die maximalen Tagestemperaturen und die Auswirkung von Hitze auf die Bodenorganismen und somit auf die Pflanzen.

Die Vegetationsperiode [30, 31] hat sich im Zuge der Klimaerwärmung in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verlängert [32-34] und dauert an den untersuchten Standorten etwa von Anfang März bis Ende November (Anhang 3), standort- und jahresbedingt mit nur leichten Unterschieden (Quelle: [35]).

2.1 Im Gleisrandbereich verwendete Bodensubstrate

Im Gleisbereich (Abb. 1) kommen verschiedene Materialien mit unterschiedlicher Korngrösse (Schotter, Kies, Splitt, Sand) zum Einsatz. Wir fassen dies unter dem Begriff Substrat zusammen. Im für uns relevanten Neben- und Zwischengleisbereich (Abb. 1: Bereiche C, D und E) wird vorwiegend feinkörniger Kies verwendet: Verschlammter Kalksteinschotter [26], in der Industrie auch Mergel genannt, ist ein widerstandsfähiges, stark beanspruchbares Material, welches aus gebrochenem Korn und Kalksteinschlamm besteht; es ist zumeist besser unter seinen Handelsnamen wie «Netstaler» [36] oder «gravier Enney» (0/16) bekannt. Im weiteren Verlauf wird der Begriff «Mergel» verwendet. Beim Austrocknen zementiert dieser sehr nährstoffarme Verbund und heizt bei Sonneneinstrahlung stark auf. Pflanzen siedeln sich, bis auf wenige Ausnahmen, nur langsam auf diesen Oberflächen an. Erst im Zuge einer langjährigen Sukzession nimmt der C_{org} -Gehalt im Substrat zu, sodass sich Pflanzen vermehrt ansiedeln können. Mergel und ähnliche Substrate werden von den Bahnbetrieben wegen dieser Eigenschaften als Deckschicht der Unterhalts- und Gehwege entlang der Gleise eingesetzt, wodurch der Unterhaltsbedarf stark reduziert wird (Abb. 4).



Abbildung 4: Typisches, auf den Gehwegen im Gleisbereich verwendetes Substrat

Dieser Mergel wird auf den Unterhaltswegen in einer etwa 10 cm mächtigen Lage auf eine unterschiedlich mächtige Schotter-Lage (30/60+) aufgetragen [37, 38], wodurch die Entwässerung begünstigt wird (Abb. 4). Niederschläge spülen das Feinmaterial von der Oberfläche, sodass ein kiesiger Eindruck entsteht. Die Materialien reichern sich im Lauf der Zeit durch äussere Einträge mit organischem Kohlenstoff an und vegrusen durch Witterungseinflüsse. Während Gleisschotter circa alle 20-30 Jahre erneuert werden müssen, haben Unterhaltswege eine Lebenszeit von etwa 50 Jahren. In dieser Zeitspanne werden lokal kleinere Reparaturarbeiten mit unterschiedlichsten Materialien durchgeführt.

2.2 Die organische Substanz im Substrat

Von jedem Plot wurden zur Bestimmung der organischen Substanz aus 13 Einzeleinstichen Mischproben des Substrates gesammelt [26]. Anschliessend wurde der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) im Labor bestimmt: Steine > 5 mm (70 %, rechts im Bild, Abb. 4) wurden aus dem Material entfernt, da sie nicht gemahlen werden konnten. Die verbleibenden kleineren Steine (20 %) und das Feinmaterial (10 %) wurden gemahlen. Das erhaltene Mehl wurde getrocknet und anschliessend verglüht. Der resultierende Messwert entspricht dem Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}).

Die Substrate aller Standorte weisen nur sehr geringe Mengen an organischer Substanz auf. Wird berücksichtigt, dass das Substrat zu 90 % aus Steinen besteht, gelangen die C_{org} -Gehalte der Substrate in den Bereich jener von Wüstenböden.

Im Vergleich der Standorte sind signifikant unterschiedliche C_{org} -Gehalte festzustellen. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit (Alpha) von 0,05 unterscheidet sich Muttentz signifikant von allen Standorten, aber auch Le Landeron unterscheidet sich von Bavois (Abb. 5A).

Im Gegensatz dazu sind die C_{org} -Gehalte pro Mischung sowohl über alle Standorte hinweg (Abb. 5B) als auch in den Wiederholungen an jedem Standort zufällig verteilt (Anhang 1 A-E). Dies bedeutet, dass die folgenden Aussagen zur Bestandesentwicklung der Vegetation repräsentativ sind, da die C_{org} -Gehalte keinen Bias erzeugen.

Die Gehalte an organischer Substanz im Substrat sind an allen Standorten sehr heterogen verteilt (Anhang 1 A-H). Die Streuung der C_{org} -Gehalte auf den Wiederholungen der Mischungen weist jedoch auch an den einzelnen Standorten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mischungen auf (Anova, einfaktorielle Varianzanalyse, P-Wert = 0,52). Die Wasserversorgung durch Niederschläge sowie die Lufttemperaturen weisen jährliche Unterschiede auf (Anhang 3). Da diese Faktoren an allen Standorten grundsätzlich sehr ähnlich sind, werden sie im Weiteren nicht detailliert gezeigt.

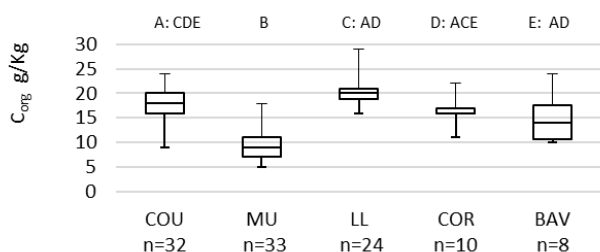


Abbildung 5A: Vergleich der C_{org} -Gehalte im Substrat der Standorte.

Statistische Relevanz: Anova: Einfaktorielle Varianzanalyse; P-Wert = $1,03E-18$. Die Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. // COU = Cousset; MU = Muttentz; LL = Le Landeron; COR = Cornaux; BAV = Bavois

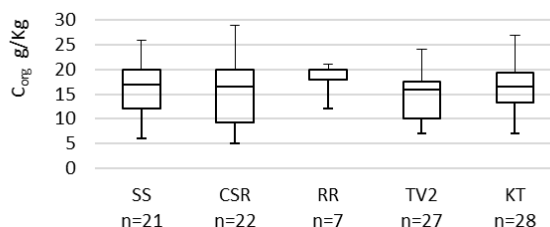


Abbildung 5B: Vergleich der C_{org} -Gehalte im Substrat der Verfahrenswiederholungen.

Statistische Relevanz: Anova: Einfaktorielle Varianzanalyse; P-Wert = 0,53. Es gibt keine signifikanten Unterschiede. // SS = Trocken-Stresstolerante Arten; CSR = Polyvalente Arten; RR = Ruderaler Pionierarten; TV2 = ubiquitäre Mischung; KT = Kontrolle ohne Einsaat

2.3 Die Bodentemperatur des Substrates

Als nachträgliche Ergänzung wurde von 2021 bis 2023 an den Standorten Cousset, Cornaux und Muttentz die Bodentemperatur in 5 cm Tiefe unter der Substratoberfläche von April bis November mit Dataloggern (HOBO 64K) gemessen. Eine zweite Messreihe fand 2021 und 2022 ex-situ Flachdach in Lullier statt. Dort wurden die Temperaturen der Bodenoberfläche (S-TMB-M00x) erfasst.

2.3.1 Resultate der Luft- und Bodentemperaturmessungen

Im Mittel erweisen sich die jährlichen Temperaturverläufe am jeweiligen Standort als sehr ähnlich. Unterschiede zwischen den Jahren treten vor allem vom Frühjahr bis in den Hochsommer auf, während im Spätsommer und Herbst die Temperaturen jedes Jahr ähnlich progressiv abnehmen (Anhang 4). Als bedeutendste Unterschiede im betrachteten Zeitraum sind aufzuführen: a) die Regenfälle im Juli 2021 (Anhang 5), die zu tieferen Bodentemperaturen führten und b) dass es 2019, 2022 und 2023 zu mehreren Hitzewellen [39] – allerdings zu unterschiedlichen Zeitpunkten – kam (Anhang 6), die eine entsprechend länger andauernde Erhitzung des Substrates zur Folge hatten. Die maximalen Tagestemperaturen des Substrates überschreiten regelmässig 35 °C, teils sogar 40 °C. In Cousset wurde eine maximale Tagestemperatur von 47,6 °C erreicht. Erstaunlich und wohl spezifisch für den Mergel sind die extremen Amplituden: Zwischen Luft (Standardmessung auf 2 m über Boden) und Boden (in -5 cm Tiefe) bestehen teils Unterschiede von annähernd 20 °C. Die höchste Tagesdifferenz im Boden beträgt 24,8 °C (Tab. 2).

Die freistehende Anlage auf dem Flachdach in Lullier hatte keinerlei Einfluss durch Beschattung. Im Messzeitraum gab es in beiden Jahren vom Frühsommer bis in den Frühherbst jeweils mehrere Perioden, in denen sich die Bodenoberfläche sehr stark erhitze. Insgesamt wurden an 124 Tagen Temperaturen von 40 °C überschritten, wovon an 32 Tagen Temperaturen über 50 °C erreicht wurden, mit einem Maximum von 58,2 °C (Tab. 3).

Tabelle 2: Anzahl Tage mit Bodentemperaturen (-5 cm) über 35 °C respektive 40 °C und maximale registrierte Jahrestemperatur pro Standort und Jahr

Standort	Cousset			Muttenz			Cornaux		
Jahr	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Tage > 35 °C	42	76	72	6	20	5	11	45	16
Davon > 40 °C	11	35	36	0	2	0	0	14	0
Maximalwert	45,8	47,6	46,1	37,9	41,9	38,9	38,8	44,5	39,1
Maximale Tagesamplitude	23,8	24,8	24,6	24,3	19,2	20,7	20,1	21,3	17,8

Tabelle 3: Temperaturen der Bodenoberfläche auf dem Flachdach in Lullier: Anzahl Tage mit mehr als 40 °C bzw 50 °C, Maximalwerte.

Monat / Jahr	>40 °C	>50 °C	Max
Juli 2021	15	1	51,8
August 2021	13	0	48,6
September 2021	6	0	43,3
Mai 2022	19	1	50,7
Juni 2022	22	7	55,6
Juli 2022	29	19	58,0
August 2022	19	4	58,2
September 2022	1	0	40,8

Box: Pflanzenkundliche Definitionen [40-42]

Therophyten sind krautige Pflanzenarten von kurzer Lebensdauer, die eine ungünstige Jahreszeit (Winter oder Trockenzeit) als Samen im Boden überdauern. Therophyten gibt es als ein- oder zweijährige Pflanzen. Die Samen sind aufgrund ihres sehr niedrigen Wassergehaltes sehr kälteresistent.

Xerophilie ist die Eigenschaft von Lebewesen, trockene Lebensräume zu bevorzugen. Lebewesen mit dieser Eigenschaft nennt man xerophil. Organismen, die trockene warme Lebensräume bevorzugen, nennt man xerothermophil.

Stratifikation ist eine Behandlung von Samen, die geeignet ist, deren Keimung in einer gepufferten Umgebung anzuregen.

2.3.2 Diskussion der Bodentemperaturmessungen

Der weitaus bedeutendste Lieferant thermischer Energie ist die Sonne [43]. Deshalb folgt die Bodentemperatur dem Tages- und Jahresgang der Sonneneinstrahlung. Helle Böden erwärmen sich weniger stark als dunkle. Trockene Böden erwärmen sich schneller als feuchte. In bewachsenen Böden sind sowohl die Erwärmung als auch die Abkühlung verzögert [31].

Mit Erhöhung der Bodentemperatur laufen viele Prozesse im Boden, z.B. die Humifizierung und die Mineralisierung, schneller ab. Für die beteiligten Bodenorganismen muss die Temperaturerhöhung jedoch im jeweiligen Toleranzbereich bleiben [44]. Für die meisten Bodenorganismen liegt das Temperaturoptimum zwischen 10 und 35 °C [45]. Die obere Grenze zur Aufrechterhaltung dieser Prozesse ist 40 bis 50 °C [46, 47], darüber setzen

Membranschädigung und Eiweiss-Denaturierung ein. Aus Tabelle 2 geht hervor, dass sowohl die 35 °C-Grenze als auch die 40 °C-Grenze, insbesondere in Cousset, noch in -5 cm Tiefe regelmässig überschritten wird. Nur hochspezialisierte Arten können in diesen lebensfeindlichen Habitaten überleben.

Bei Temperaturen über 45 °C sind nur noch wenige Pflanzen lebensfähig [48]; sie schützen sich jedoch durch Transpiration, solange Wasser verfügbar ist. Der «Hitzetod» tritt bei vielen einjährigen Arten um die 50 °C ein. Keimlinge und junge Sämlinge werden schon bei niedrigeren Temperaturen abgebrannt. Die Messung der Oberflächentemperaturen zeigt, dass Sämlinge auf den untersuchten Substraten, teils schon im Frühsommer, regelmässig absterben. Maximale Oberflächentemperaturen von annähernd 60 °C bedeuten auch für weiter entwickelte Pflanzen eine extreme Belastung, die nur wenige Arten tolerieren [49]. Für die Etablierung junger Pflanzen ist die Keimphase und das Frühstadium der Sämlinge am kritischsten, weil die Wurzeln wenig Tiefe erreichen und Hitze- und Trockenperioden die Jungpflanzen schädigen können. Die in den Versuchen gemessenen Werte erfordern Anpassungen, wie sie Therophyten oder xerothermophile Arten erbringen (Box).

Der Vergleich der Standorte Cousset und Cornaux im Jahr 2023 verdeutlicht den Einfluss der Beschattung auf die Bodentemperaturen (Abb. 6, links). An beiden Standorten ist die Entwicklung der Lufttemperatur quasi dieselbe. In Cousset verhält sich die Differenz zwischen Boden- und Lufttemperatur wie erwartet. In Cornaux hat sich jedoch 2023 ein Rosmarin-Weidenröschen (*Epilobium dodonaei*) mit einer Wuchshöhe von 50 cm genau über dem Datalogger installiert und diesen beschattet. (Abb. 6, rechts) Dies hat zur Folge, dass in Cornaux die Amplitude zwischen Luft- und Bodentemperatur schon im Frühjahr sinkt und im Frühsommer das Substrat kaum noch wärmer als die Luft ist, um im Spätsommer sogar kühler zu sein. Mit dem Aufkommen von ersten Pionierarten verbessern sich sofort die Bedingungen für weitere Pflanzen. Diese Prozesse laufen sehr langsam ab.

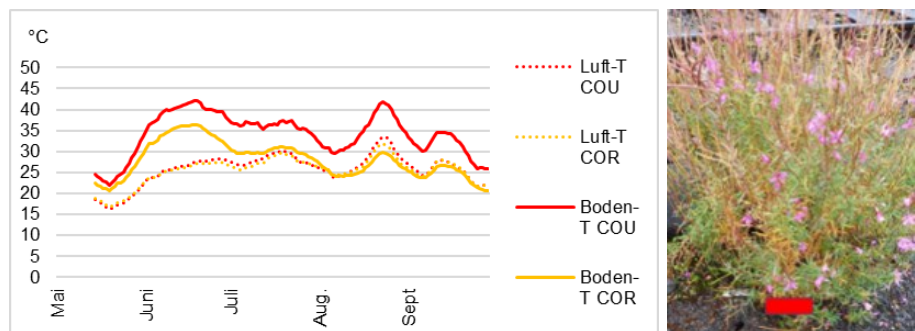


Abbildung 6: Temperaturgänge (Luft, Boden) in Cousset (COU) und Cornaux (COR). Einfluss der Beschattung auf die Bodentemperatur in Cornaux 2023 (gleitendes Mittel 14d).

Roter Balken auf dem Foto: Platzierung des Dataloggers.

2.3.3 Schlussfolgerungen zu den Bodentemperaturmessungen

Für die untersuchten Substrate auf Bahnanlagen bedeutet dies: Frisch ausgebrachte Mergel sind zwar relativ hell, jedoch auch rau und bestehen zu 90 % aus Steinchen; sie sind wasserdurchlässig und nicht bewachsen. Sie nehmen also viel Wärme auf, respektive speichern sie nur kurzfristig. Erst im Lauf der Zeit bildet sich organische Substanz, die den Boden verdunkelt, sodass dieser noch mehr Wärme aufnehmen und Wasser speichern kann. Erst wenn ausreichend organische Substanz vorhanden ist, kann sich flächig beschattende Vegetation bilden, die zu einer deutlich geringeren Wärmeaufnahme und zu einer langsameren Wärmeabgabe führt. Nur spezialisierte Arten sind für die erfolgreiche Keimung und Etablierung von Jungpflanzen geeignet. Diese sind auf günstige Witterungsverhältnisse angewiesen, was nicht in jedem Jahr gegeben ist.

Gleichzeitig nehmen jedoch mit zunehmender Besiedlung die Beschattung und die Anreicherung von organischer Substanz im Laufe der Zeit zu, was die weitere Besiedlung fördert: Je «älter» das Substrat, desto länger konnte es sich vor allem aufgrund der stattfindenden Vegetationszyklen (Wachstum/Zerfall) und der Ansammlung von Blättern und anderen Pflanzenresten in Standortnähe mit Diasporen und organischem Material anreichern. Dies führt allmählich dazu, dass mehr Arten in der Pflanzensukzession auftreten können, bis sich nach Jahren eine geschlossene Pflanzendecke etablieren kann.

2.4 Niederschlagsverteilung

Weiter wurden von Meteosuisse und Agrometeo für jeden Standort Wetterdaten der Jahre 2000 bis 2023 (Niederschlag, Lufttemperatur, Sonnenscheindauer) nahegelegener Meteostationen bezogen (Anhang 1).

2.4.1 Auswertung der Wetterdaten

Die Betrachtung der Niederschlagssummen während der Versuchsjahre zeigt deutliche jährliche und regionale Unterschiede. In der Beobachtungszeit 2000-2023 zeigten die mittleren jährlichen Niederschläge lokale Unterschiede mit geringfügig zu- oder abnehmenden Tendenzen (Anhang 7). Der jährliche Temperaturverlauf sowie die Sonnenscheindauer waren an allen Standorten sehr ähnlich; der Trend der Maximal- und Minimaltemperaturen sowie der Sonneneinstrahlung stieg an allen Standorten (Anhang 7).

Das Substrat der untersuchten Gleisbereiche kann, anders als natürliche Böden, kaum Wasser speichern. Um die Auswirkungen der Niederschlagsverteilung auf die Vegetationsentwicklung unter diesen besonderen Bedingungen zu qualifizieren, wurden die Niederschlagsmengen in vier Kategorien zusammengefasst (Anhang 3). Diese Gliederung zeigt, dass 2019 bis 2022 der Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr deutlich von trockenen Phasen geprägt war. Im Jahr der Ansaat 2019 wirkte sich dies nicht auf die Keimung aus, da die Trockenheit vor der Ansaat lag und in den folgenden Monaten regelmässig ausreichend Niederschlag fiel.

In den Sommern der jeweiligen Jahre fiel generell genug Wasser, um die Pflanzen kontinuierlich zu versorgen, auch wenn ein- bis zwei-wöchige trockene Phasen dazwischen lagen. Besonders sind die starken Regenfälle im Juli 2021 hervorzuheben, welche schweizweit zum ersten Mal seit den Gewässerkorrekturen zum Überlaufen vieler Seen geführt hatten [50].

Anders im abschliessenden Versuchsjahr 2023: Hier lag die Trockenheit vor dem Beginn der Vegetationsperiode. Das Frühjahr bot günstige Bedingungen, während der Sommer bis in den Herbst ausgesprochen trocken war; nur vereinzelte Regenereignisse lieferten sporadisch Wasser. Zu starken Regenereignissen kam es erst ab Oktober. Die Regenfälle im späteren Herbst und im Winter fallen jedoch nicht ins Gewicht, da das Wasser nicht oder kaum im Substrat gespeichert wird.

2.4.2 Schlussfolgerungen zu den Wetterdaten

Längere Phasen mit viel Sonnenschein führen zu einer konstanten Erhöhung der Luft- und damit der Bodentemperaturen. Niederschläge führen zu einer sofortigen drastischen Abkühlung; diese hält allerdings nur an, wenn in einer bestimmten Zeitspanne mehrere Niederschlagsereignisse auftreten. Sobald kein Regen mehr fällt, steigen die Temperaturen sehr schnell wieder an, womit eine verstärkte Evapo-Transpiration verbunden ist und noch weniger pflanzenverfügbares Wasser im durchlässigen Substrat der Unterhaltswege und Bankette vorhanden ist. Ohne detaillierte vergleichende Untersuchungen an den Standorten ist der Einfluss der Niederschläge auf die Entwicklung der untersuchten Mischungen nur schwer fassbar; es ist jedoch davon auszugehen, dass Trockenperioden während der Keimphase unmittelbar nach der Aussaat hindernd auf die Etablierung wirken (siehe Ergebnisse zu Lullier).

- Das Wetter ist an den verschiedenen Standorten ähnlich.
- Das Wetter wirkt nicht grundsätzlich negativ auf die Entwicklung der Pflanzen an den Versuchsstandorten.
- Hitze und Trockenheit können die Keimung und frühe Entwicklung der Pflanzen beeinträchtigen.

2.5 Fazit: Lebensfeindliche Standortbedingungen

Die Untersuchungen zum Substrat auf den Freilandstandorten des Projektes bestätigen, dass nebst der Nährstoffarmut auch seine thermischen Eigenschaften ein für Pflanzen generell lebensfeindliches Umfeld schaffen, in dem nur trockenheits- und hitzeresistente Arten dauerhaft überleben können.

Die in den oberen Bodenlagen erreichten sehr hohen Temperaturen bedeuten einen enormen Stress für alle nicht-hitzetoleranten Pflanzen. Für viele Bodenorganismen und Pflanzen bedeuten auch die sehr hohen Tagesamplituden im Substrat einen weiteren intensiven Stressfaktor. Die Keimung und Entwicklung eingesäter Pflanzen wird dadurch insbesondere auf jungen Mergelbelägen stark eingeschränkt. Die Tendenz zu steigenden maximalen Lufttemperaturen wird dies noch verschärfen. Abgemildert werden diese Effekte durch regelmässig auftretende Niederschläge.

3 Keimversuche in der Klimakammer

3.1 Ziel

Ziel des in der Klimakammer durchgeführten Experiments war, das Keimpotenzial der Mischungen unter kontrollierten Umweltbedingungen zu testen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Lichtperiode, Intensität der photosynthetisch aktiven Photonen). Der Ex-situ-Ansatz liefert Angaben zur Keimung der einzelnen Mischungen, die mit den Versuchen auf den klimatischen Unwägbarkeiten und anthropogenen Einflüssen ausgesetzten Freilandparzellen (in situ) verglichen werden können.

3.2 Versuchsmethode

Der Versuch wurde in zwei Schritten durchgeführt (Tab. 4). Im Ende 2020 durchgeführten ersten Versuchsteil wurde das Keimpotenzial der Mischungen CC, SS, RR und CSR bei hoher Keimtemperatur (19 °C am Tag und in der Nacht) getestet. Im zweiten, 2022 durchgeführten Versuchsteil wurden die Mischungen SS, RR, CSR und TV2 bei niedrigen Temperaturen (13 °C am Tag und 10 °C in der Nacht) getestet. Dabei ist zu erwähnen, dass beim zweiten Versuchsteil die konkurrenzfähige Mischung «CC» durch die Mischung TV2 ersetzt wurde, deren Zusammensetzung aus den ersten beiden Beobachtungsjahren an den In-situ-Standorten hervorging.

Tabelle 4: Testbedingungen und getestete Verfahren in den Klimakammer-Versuchen. *in/en PPFD: Photosynthetic Photon Flux Density

Klimabedingungen	Warme Temperaturen	Kalte Temperaturen
Versuchszeitraum	03.11.2020 – 26.03.2021 (143 Tage)	21.01.2022 – 30.06.2022 (160 Tage)
Getestete Mischungen	SS, RR, CSR und CC	SS, RR, CSR und TV2
Temperatur am Tag	19 °C	13 °C
Temperatur in der Nacht	19 °C	10 °C
Lichtperiode	12 h Tag / 12 h Nacht	12 h Tag / 12 h Nacht
Relative Feuchtigkeit	50 %	64,5 %
Mittlere Lichtintensität*	135 $\mu\text{mol Photonen m}^{-2} \text{s}^{-1}$	135 $\mu\text{mol Photonen m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Die Entwicklung der Pflanzen wurde ein- bis zweimal pro Woche beobachtet, wobei die Bewässerung von unten erfolgte. Anlässlich der monatlich stattfindenden Sitzungen zur Identifizierung der Pflanzen konnte das Vorhandensein bzw. Fehlen von Taxa festgestellt werden. Da bestimmte Arten im Sämlingsstadium schwer identifizierbar sind, wurde die letzte Aufnahme zur Analyse der Ergebnisse herangezogen.

Die verwendete Methode weist mehrere Grenzen auf:

- Jede Mischung wurde in 3 Wiederholungen in Saatschalen von 0,16 m² (= 0,48 m²) getestet; die einzelnen Saatschalen sind deutlich kleiner als die Mindestfläche, auf der alle Samen keimen könnten.
- Pro Saatschale wurden nur 8 g Saatgut (Samen + Trägermaterial) angesät; ob eine repräsentative heterogene Samenmischung erzielt wird, hängt daher selbst nach vorherigem Durchschütteln der Saatgutsäcke vom Zufall ab.

- Die Samen wurden nicht spezifisch mit Kälte, Feuchtigkeit, Licht, Säure oder mechanisch behandelt (Stratifikation, Box), um die Keimung zu begünstigen.

3.2.1 Beobachtungen zum ersten Teil – hohe Temperaturen 19 °C

Im ersten Testteil bei hohen Temperaturen kam es zu einer raschen Keimung der Mischungen RR, SS und CSR. Die Mischung CC benötigte eine längere Keimzeit und die seltenen Jungpflanzen wiesen Mangelanzeichen auf. Daher wurde beschlossen, zu Versuchsende dem Bewässerungswasser während des Januars Dünger beizugeben (Wuxal-Universaldünger 2 ml/Liter), d.h. 2 ml/Woche während 5 Wochen. Dies entspricht 12,375 kg Stickstoff pro Hektare und Woche während 5 Wochen oder insgesamt 62 kg Stickstoff pro ha (Anhang 8 A). Während des Februars wiesen die anderen Mischungen Mangelanzeichen auf und erhielten insgesamt 8 ml Dünger (12,375 kg Stickstoff pro Hektare und Woche über 4 Wochen). Dies entspricht einer Gesamtmenge von 12 kg N pro ha.

3.2.2 Bemerkungen zum zweiten Teil – niedrige Temperaturen 10–13 °C

Im zweiten Experimentteil wirkten sich die konstant niedrigen Temperaturen auf die Hygrometrie in der Klimakammer aus. Aus technischen Gründen war es mit dem System nicht möglich, die relative Feuchtigkeit stabil bei 50 % zu halten, sondern bei etwa 64,5 %. Dies hatte zur Folge, dass sich an der Oberfläche der Saatschalen Schimmelpilze bildeten. Die niedrigen Temperaturen beeinflussten vor allem die Wachstumsgeschwindigkeit der Pflanzen, deren Keimung erschwert wurde. Nach 5 Versuchsmonaten wurde beschlossen, das Wachstum mit 3 ml Dünger (Wuxal) zu «boosten». Dies entspricht 118,56 kg Stickstoff pro Hektare. Die Temperatur wurde auf 22 °C am Tag und 19 °C in der Nacht erhöht, um die Identifizierung der Arten zu erleichtern.

3.3 Resultate zur Keimung der Mischungen

Im vorliegenden Kapitel wird der quantitative Versuchsplan in der Klimakammer vorgestellt. Die Beobachtungen zu den Freilandversuchen werden in Kapitel 4 ergänzend beschrieben und diskutiert. Der qualitative Versuchsplan in der Klimakammer wird in Anhang 8 B im Detail erklärt.

Abbildung 7A zeigt die Gesamtergebnisse hinsichtlich der Anzahl gekeimter Arten der einzelnen Mischungen für Versuche bei hohen Temperaturen (rot), niedrigen Temperaturen (blau) und bei einer Kombination beider Temperaturen (gelb). Die Anzahl der in den einzelnen Mischungen enthaltenen Arten wird grau dargestellt. Die konkurrenzfähige Mischung CC wurde nur unter hohen Temperaturbedingungen getestet. Daraufhin wurde die ubiquitäre Mischung TV2 unter niedrigen Temperaturbedingungen getestet.

- Bei der Mischung CC keimten bei hohen Temperaturen 18 der 22 Arten der Mischung (Tabelle 4). Die Mischung musste mit der Beigabe von Dünger stimuliert werden.
- Bei der Mischung RR keimten 12 Arten bei beiden Temperaturstufen; von den 21 Arten der Mischung keimten also insgesamt 16 Arten.
- Bei der Mischung SS keimten 17 Arten bei hohen Temperaturen und 12 Arten bei niedrigen Temperaturen, also insgesamt 18 der 23 vorhandenen Arten.
- Bei der Mischung CSR keimten 15 Arten bei hohen Temperaturen und 12 Arten bei niedrigen Temperaturen, also 18 der 31 vorhandenen Arten.
- Die Mischung TV2 wurde nur bei niedrigen Temperaturen getestet. Dabei keimten 21 der 46 vorhandenen Arten.

Bei bestimmten Arten blieb die Keimung in der Klimakammer aus, doch bei einigen davon wurde unter Freilandbedingungen trotzdem eine Keimung beobachtet, was auf das Fehlen der Stratifikation zurückgeführt werden könnte (Tab. 5). Werden die unter Freilandbedingungen beobachteten Arten zu den in der Klimakammer gekeimten Arten addiert, so weisen die Mischungen eine sehr hohe Keimrate von 80 bis 95 % auf – höher als nur in der Klimakammer (Abb. 7B, grün). Bei artenreichen Mischungen mit hoher ökologischer Plastizität wie der polyvalenten Mischung CRS und der ubiquitären Mischung TV2 nimmt die Anzahl gekeimter Arten von 18 auf 27 bzw. von 21 auf 42 (von insgesamt 46) zu.

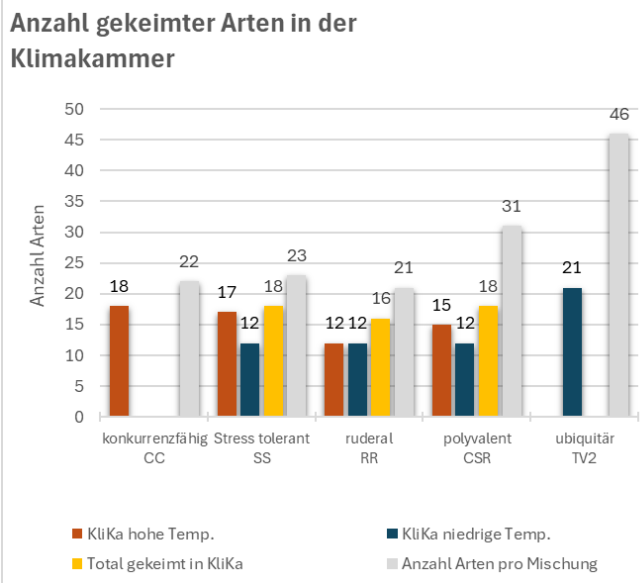


Abbildung 7A: In der Klimakammer erzielte Ergebnisse hinsichtlich Anzahl gekeimter Arten pro Mischung

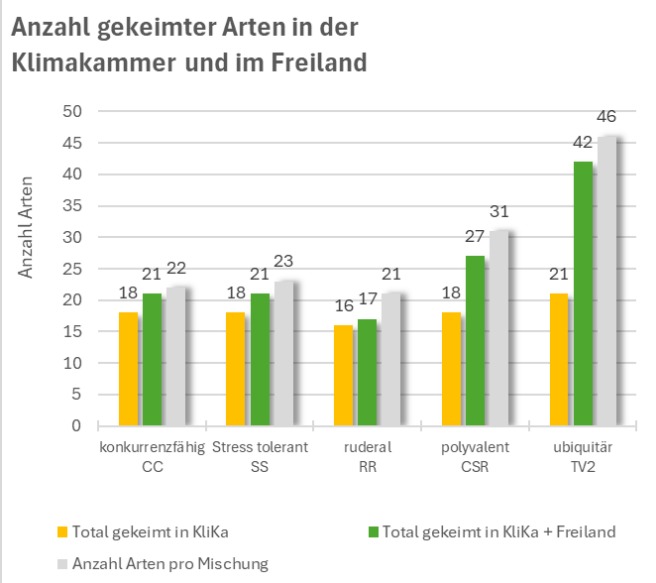


Abbildung 7B: Keimung der Mischungen, ergänzt durch Erhebungen an den Versuchsstandorten

Tabelle 5: Arten, die in der Klimakammer nicht gekeimt sind, verglichen mit ihrem Vorkommen unter Freilandbedingungen an den SBB-Standorten und auf der Dachanlage in Lullier (Anzahl Zählungen während der gesamten Versuchsperiode).

In der Klimakammer nicht vorkommende Art	SBB-Versuchsst andort im Freiland	ex situ Lullier	In der Klimakammer nicht vorkommende Art	SBB-Versuchsst andort im Freiland	ex-situ Lullier
Arabis hirsuta	0	2	Salvia pratensis	20	2
Glechoma hederacea subsp. hederacea	0	0	Koeleria pyramidata	23	30
Pimpinella saxifraga	0	0	Picris hieracioides	47	0
Ajuga reptans	1	0	Galeopsis angustifolia	84	0
Campanula rotundifolia	1	0	Lotus corniculatus	92	2
Fragaria vesca	3	0	Sedum acre	128	45
Viola tricolor	3	12	Poa compressa	262	56
Poa pratensis	7	1			
Geranium pyrenaicum	7	3			

3.4 Diskussion der Resultate

Die Resultate, d. h. die Anzahl der pro Mischung gekeimten Arten (Abb. 7A und 7B), zeigen eine insgesamt erfreuliche Entwicklung der Mischungen. Dabei ist zu erwähnen, dass die konkurrenzfähige Mischung CC durch Düngerzusatz begünstigt wurde. Einige Arten keimten nur bei hohen, niedrigen oder beiden Temperaturstufen. Die Mischungen weisen direkt abhängig von der Bodentemperatur qualitative und teilweise auch quantitative Unterschiede bei der Keimung auf. Damit können sie den Begrünungsbedarf zu unterschiedlichen Jahreszeiten decken.

Für die Unterschiede bei der Keimung kommen mehrere Hypothesen in Betracht:

- Die begrenzte Anbaufläche in der Klimakammer ($3 \times 0,16 \text{ m}^2 = 0,48 \text{ m}^2$) schränkt die Keimung aller Taxa der Mischungen ein.
- Pro Saatschale wurden nur 8 g Saatgut angesät, um die Dichte der Aussaat im Freiland zu respektieren; ob eine repräsentative heterogene Samenmischung erzielt wird, hängt daher selbst nach vorherigem Durchschütteln der Saatgutsäcke vom Zufall ab.
- Die thermischen Keimbedingungen im Freiland unterscheiden sich von den Testbedingungen in der Klimakammer.
- Die Allelopathie oder direkte Konkurrenzwirkung unter den Arten wird auf einer kleinen Fläche durch die Nähe verstärkt. So konnte das normalerweise in allen Mischungen vorhandene *Bromus tectorum* z. B. in der konkurrenzfähigen Mischung CC und der polyvalenten Mischung CSR nicht aufkommen.
- In der Klimakammer fehlen für die Keimung förderliche externe Faktoren, z. B. Mikroorganismen und Mikrofauna am Boden, und andere Stratifikationsmethoden wie Licht, Kälte, Frost sowie chemische oder mechanische Faktoren. *Lotus corniculatus* z. B. keimt leichter, wenn die Samen aufgeschlitzt werden.
- Fehlender Beitrag von Allogen von in der Umgebung vorhandenen Arten: Arten wie *Picris hieracioides* sind in einer gestörten anthropophilen Umwelt reichlich vorhanden.
- Höhere Variabilität der Substrattextur an den In-situ-Standorten; diese Variabilität fehlte in der Klimakammer und am Ex-situ-Standort Lullier mit dem gleichmässig angeordneten Substrat. Entsprechend gilt: 1. An den In-situ-Standorten entwickeln sich einige Arten wie *Galeopsis angustifolia* in groben Gleisschottersteinen und keimen ausgehend von diesen Populationen am Rand der Versuchsbereiche, was in der Klimakammer oder an einem Ex-situ-Standort nicht der Fall ist. 2. *Picris hieracioides* gedeiht auf relativ feinkörnigen Böden optimal und profitiert von der grösseren Heterogenität der Körnung der In-situ-Substrate.

3.5 Fazit zu den Klimakammerversuchen

Abschliessend ist festzustellen, dass die Mischungen in der Klimakammer erfolgreich keimten und temperaturabhängig sowohl qualitative als auch teilweise quantitative Unterschiede bei der Keimung aufweisen. Bestimmte Arten keimen bei hohen Temperaturen (*Medicago minima*), andere bei niedrigen (*Trifolium montanum*) und wieder andere bei beiden (*Bromus erectus*). So kann der Begrünungsbedarf entsprechend den Temperaturschwankungen das ganze Jahr über gedeckt werden. Die an nährstoffbedürftigen Arten reiche, konkurrenzfähige Mischung CC bildet jedoch eine Ausnahme: Um sich zu etablieren, benötigte sie eine «Starthilfe» in Form einer Düngerbeigabe (2 ml/l Wuxal pro Woche über 5 Wochen, also 12,375 kg Stickstoff pro Hektare und Woche während 5 Wochen).

Die Mischungen weisen unter Freilandbedingungen eine höhere Keimrate auf (80 bis 95 %); dort profitieren sie von:

- mehr Raum für die Keimung;
- weniger Allelopathie- und direkte Konkurrenzeffekte unter den Arten;
- möglichen Interaktionen mit anderen lebenden Organismen (Mikroorganismen, Mikrofauna) oder anderen Stratifikationsfaktoren;
- allogen Samen von Arten der Mischung, die auch in der Freilandumgebung vorhanden sind;

- einer grösseren Variabilität der Substrattextur, die spezifische Nischen für die Ansiedlung bestimmter Arten fördert.

Bestimmte Taxa fehlten sowohl in der Klimakammer als auch in den Freilandversuchen. Deshalb wurde beschlossen, 9 Arten aus den Mischungen zu eliminieren: *Poa pratensis*, *Ajuga reptans*, *Arabis hirsuta*, *Campanula rotundifolia*, *Fragaria vesca*, *Geranium pyrenaicum*, *Glechoma hederacea* subsp. *hederacea*, *Pimpinella saxifraga* und *Viola tricolor*.

4 Ansiedlung der Mischungen im Freiland

Das vorliegende Kapitel beantwortet die in der Einleitung formulierten Hypothesen, die sich in 4 Themenbereiche gliedern lassen:

- Vegetationsdecke
- Diversität der Flora
- Problemarten
- Massgebliche Faktoren

4.1 Methoden

4.1.1 Methodik der Vegetationsaufnahme

Die Erhebungen zu Gefässpflanzen in zuvor abgesteckten Plots wurden nach der «Punkt-Quadrat-Methode» [51] durchgeführt. Diese ermöglicht standardisierte und reproduzierbare Beobachtungen der vorhandenen Vegetation. Zur Dichtebestimmung wird ein Massband ausgerollt, im Abstand von 10 cm ein Stab senkrecht gehalten und notiert, welche Arten er berührt (Abb. 8). In jedem Plot wurden 70 bis 100 Punkte erhoben (Abb. 9). Anhand dieser Methode lässt sich die Deckung der getesteten Flächen durch Gefässpflanzen und Moose genau messen.

In der zweiten Phase wurde für jeden Plot eine ergänzende Liste der auf dem Transekt nicht berührten Arten erstellt. So lassen sich alle auf den Versuchspartzellen gekeimten Arten erfassen.



Abbildung 8: «Punkt-Quadrat»-Erhebungsmethode
© Julie Steffen

4.1.2 Deckungsschätzung und Auswertung der Daten

Um die Wirksamkeit der verschiedenen Mischungen an jedem Standort zu bewerten, d. h. die Ansiedlung (Deckung durch die auf den Versuchspartzellen angesäten Arten) und ihre Konkurrenzfähigkeit gegenüber der unerwünschten Flora entlang der Bahngleise (Deckung durch Problempflanzen), wurden die Arten in sechs Kategorien zusammengefasst, die den Anforderungen der SBB an die Begrünung der Zwischengleisbereiche und Bankette entsprechen. Der nachfolgende Abschnitt enthält Einzelheiten zur Zuordnung der erfassten Arten zu den folgenden Kategorien.

1. **Nackter Boden:** Boden ohne Gefässpflanzen- und Moosschicht.
2. **Moose:** Moose, die allein und ohne Kontakt zu Gefässpflanzen wachsen. Moose, die mit Gefässpflanzen in Berührung kommen, wurden zwar erhoben, aber in den Grafiken der Evaluationen nicht berücksichtigt. Die tatsächliche Moosdeckung wird somit unterbewertet, um einen besseren Einblick in die Bodenbedeckung durch die Gefässflora zu erhalten.

3. Gefässpflanzen:

- a. **Angesäte Arten:** Arten aus den Samenmischungen. Die Zusammensetzung der Mischungen wird in Anhang 2 aufgeführt.
 - b. **Spontane unproblematische Arten:** nicht ausgesäte unproblematische Arten; im Text als «spontan» bezeichnet.
 - c. **Spontane problematische Arten:** invasive gebietsfremde Arten in der Schweiz [52] (OFEV, 2022); holzige Arten, Arten mit einem Wurzelsystem, das den Gleisschotter beschädigen kann, sowie zu hoch wachsende, kriechende oder kletternde Arten, die die Begehung durch das SBB-Personal möglicherweise beeinträchtigen; im Text als «problematisch» bezeichnet.
- **Unbestimmbare Arten:** Arten, die aufgrund ihres frühen Entwicklungsstadiums oder ihrer Seneszenz nicht auf Gattungs- oder Artebene identifiziert werden können.

Darauf wurde für jede Kategorie an jedem Standort und für jedes Aufnahmejahr der Deckungsgrad durch Gefässpflanzen und Moose errechnet. In statistischen Tests wurden anschliessend signifikante Unterschiede aufgezeigt.

4.1.3 Sonderfall: Ex-situ-Versuchsanlage in Lullier

Ziel des Versuchs war es, das Entwicklungspotenzial der Mischungen unter halbkontrollierten Umweltbedingungen zu testen. Diese Versuche waren somit klimatischen Unwägbarkeiten und Einträgen spontaner Vegetation aus der Umgebung ausgesetzt, jedoch nicht anthropogenen Einflüssen wie z. B. Trittschäden durch vorbeigehendes Personal, ungeplante Massnahmen zur Vegetationskontrolle (Herbizide, Mähen, Schneiden) oder Gleisunterhaltsbaustellen.

Im Dezember 2019 wurden 12 von Holzbrettern eingefasste Blöcke aufgestellt und im Februar 2020 eingesät (Abb. 10 und 11). Um die in der Realität vorkommenden Substrate so gut wie möglich zu replizieren, wurde der Boden mit 20 cm halbgroben Schotter gefüllt und dann mit 10 cm verschlammtem Kalksteinschotter bedeckt. Analog zu den In-situ-Versuchsstandorten wurde der Schotter belüftet und dräniert, um eine übermässige Wasserretention zu vermeiden. Es wurden weder Düngemittel noch Wasser zugeführt. Jeder Block bestand aus einem angesäten Teil von 15 m² und dem nicht angesäten Kontrollteil von 5 m² (an der Wandseite; Abb. 9, 10 und 11). Dies diente der Harmonisierung der Ex-situ- und In-situ-Testflächen.

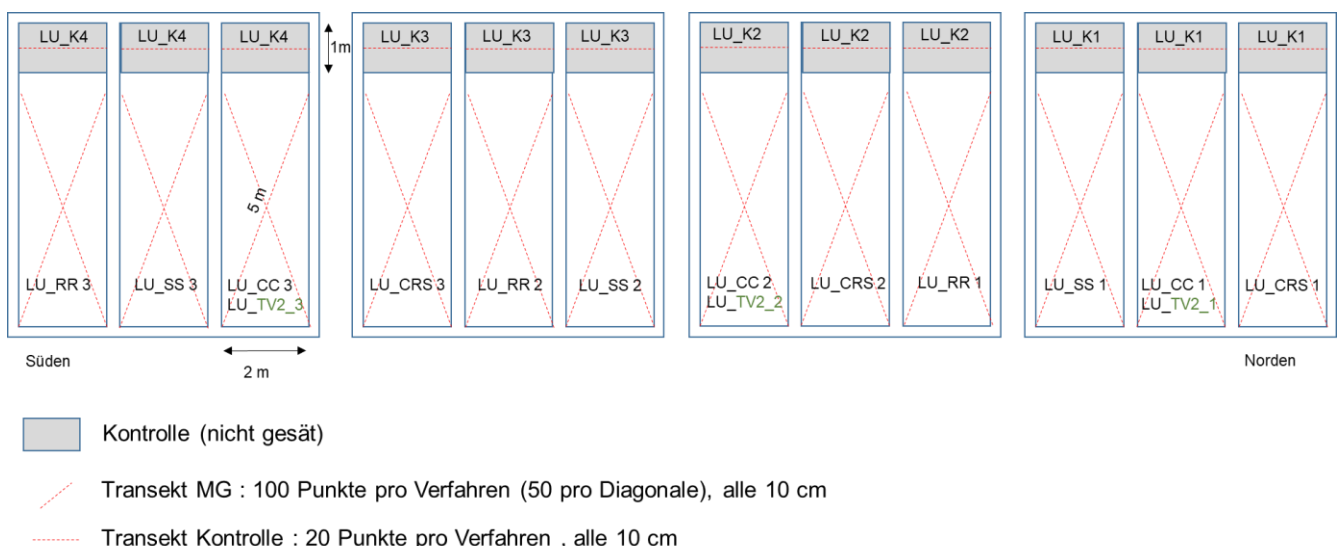


Abbildung 9: Versuchsschema von Lullier.

Auf den zuvor mit der Mischung CC eingesäten Parzellen wurde 2020 die Mischung TV2 angesät.



Abbildung 10: Dachanlage in Lullier (Januar 2020). Links: fertiggestellter Plot vor der Ansaat. Mitte: Abfolge verschiedener Versuche. Rechts oben: Auflagematerial. Rechts unten: Auflagematerial, vergrößerte Darstellung



Abbildung 11: Entwicklung der Vegetation (CSR 3, RR 2, SS 2) auf der Dachanlage im Mai 2022 (links) und im Mai 2023 (rechts)

4.2 Resultate

4.2.1 Reaktion der Mischungen: Ansiedlung an den Standorten

In diesem Kapitel wird die Ansiedlung der Vegetation quantitativ für alle Standorte (4.2.1.1) sowie qualitativ für den Standort Cousset (4.2.1.2) besprochen. Erörtert werden die angesäten Mischungen im Vergleich zu der Kontrollsituation (nicht angesät).

4.2.1.1 Analyse der Entwicklung der Vegetationsdecke an den Untersuchungsstandorten

Die quantitative Analyse der Ansiedlung der Mischungen konzentriert sich auf die Entwicklung der Vegetationsdecke, u. a. den Anteil von angesäten und spontanen (problematischen oder unproblematischen) Arten. Die Analyse beantwortet also die Frage, wie schnell sich die Vegetation je nach Modalität etabliert hat.

Cousset

Die Deckung durch Gefässpflanzen, angesäte Arten und Moosen nimmt mit der Zeit bei allen Mischungen zu (Abb. 12). Problematische Pflanzen machen bei den verschiedenen Mischungen einen geringen (~1 %) und im Zeitverlauf schwankenden Anteil aus. Dieser Anteil ist in der Kontrollgruppe leicht höher (> 5 % im Jahr 2022), doch der Unterschied ist statistisch nicht signifikant (Anhang 9). Moose sind an diesem Standort generell reichlicher vorhanden (20–30 %) als in Le Landeron.

Der Beitrag der angesäten Gefässarten zur Deckung zeigt die «Hebelwirkung» des Saatguts auf. Nach fünf Jahren hat sich die ruderale Mischung «RR» mit einer Deckung von 48 % am besten etabliert; darauf folgen in absteigender Reihenfolge die stresstoleranten Mischungen «SS» (37 %), die polyvalenten Mischungen «CSR» (31 %) und die Kontrollfläche «KT» (30 %). Nach drei Jahren weist die ubiquitäre Mischung «TV2» einen höheren Deckungsgrad (41 %) auf als die ruderale Mischung RR (28 %) (Abb. 13).

Bei der Analyse aller Daten von 2020 bis 2023 zeigt der Vergleich der angesäten Bereiche mit den nicht angesäten Kontrollbereichen einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Deckung durch gesäte Arten gegenüber spontanen und problematischen Arten (Kruskal-Wallis $p = 0,009$). Werden nur die Daten von 2023 betrachtet (Kruskal-Wallis $p = 0,814$), so ist der Unterschied nicht mehr signifikant, weil die Kontrollbereiche sich mit Arten aus angesäten Bereichen anreicherten. Zur Validierung der letzten Feststellung wurden die gleichen Analysen ohne Berücksichtigung der Kontrollbereiche durchgeführt. Daraus ergab sich ein nicht signifikanter Unterschied (Kruskal-Wallis $p > 0,05$). Demzufolge erzielt die Aussaat verglichen mit dem Kontrollbereich tatsächlich eine Wirkung; der Kontrollbereich wird mit der Zeit von den in der Nähe angesäten Arten besiedelt.

Störungen

In Cousset (Anhang 1 A) wurden Ende 2020 gleisseitig entlang des Versuches der Schotter auf 30–40 cm Breite neu gehäufelt. Im Mai und im September 2023 wurden die Flächen entgegen der Projektvorgabe gemäht. Da die Schotterarbeiten 2020 am Rande der Versuchsflächen stattfanden, haben sich diese kaum auf die Vegetationsentwicklung ausgewirkt. Der Einfluss der unvorhergesehenen Mahd im Frühling 2023, die ein paar Tage vor der Vegetationsaufnahme stattfand, ist kaum nachzuvollziehen, da nicht beziffert werden kann, wie sie sich auf die Entwicklung der Vegetation im Sommer und Herbst ausgewirkt hat. Wegen der Herbstmahd musste die Vegetationsaufnahme in den Oktober verschoben werden, was einen kaum messbaren Einfluss auf das Ergebnis gehabt hat.

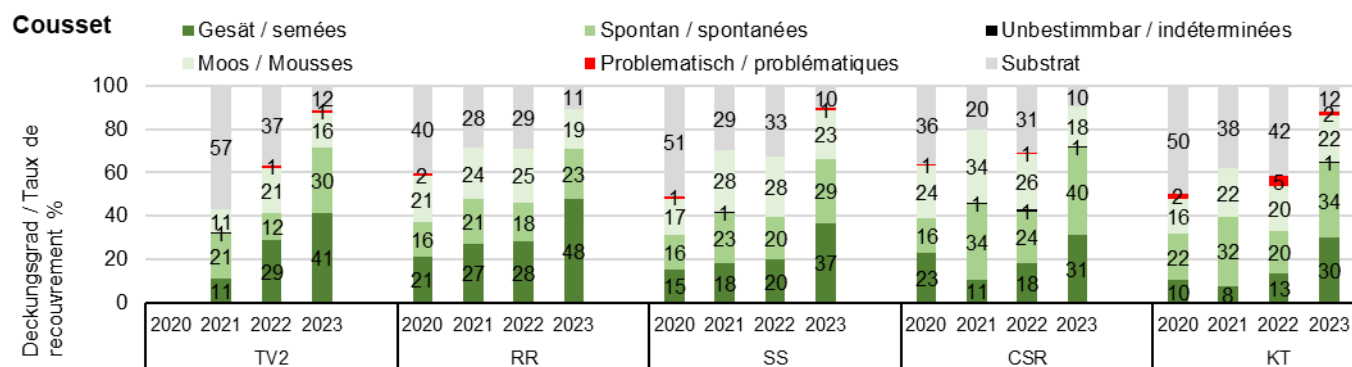


Abbildung 12: Entwicklung des Deckungsgrads der Vegetation nach Mischung und Kategorie im Verlauf der Jahre am Standort Cousset

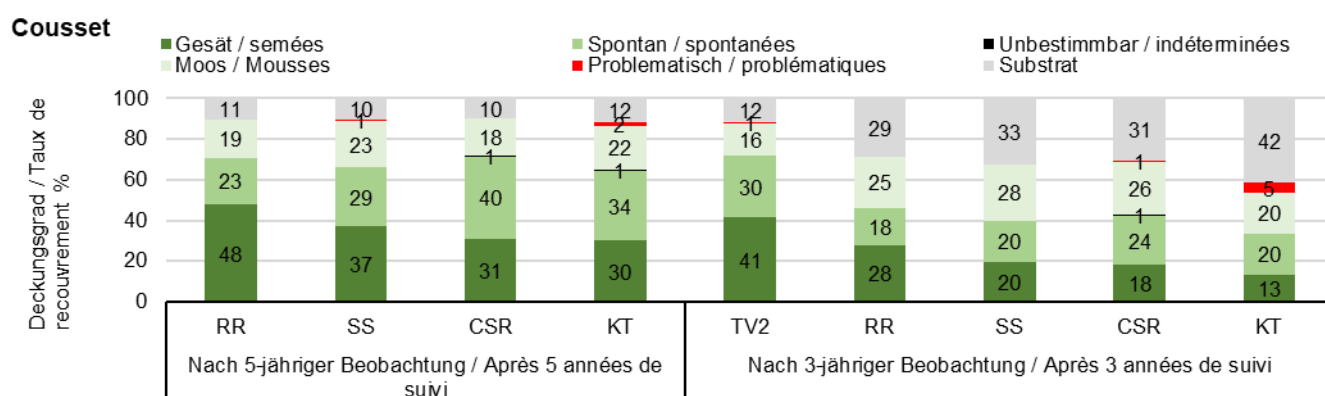


Abbildung 13: Deckungsgrad der Vegetation nach Mischung und Kategorie nach fünf und drei Beobachtungsjahren am Standort Cousset

Le Landeron

Wie in Cousset nimmt die Deckung durch Gefässarten, angesäte Arten und Moose mit der Zeit zu. Der Anteil nackter Boden bleibt jedoch grösser (Abb. 14). Der zwar sehr geringe Anteil problematischer Pflanzen (1–2 %) nimmt auch bei den Mischungen RR, SS, und TV2 zu. Bei den Mischungen CSR und RR sowie der Kontrollgruppe beträgt die Moosdeckung 5 %, bei der Mischung SS 10 %. Bei der Mischung TV2 ist sie sehr gering (5 %). Im Jahr 2021 nimmt dieser Anteil stark zu und erreicht 2023 18 %.

Wie in Cousset weist die ruderalen Mischung «RR» nach fünf Jahren die höchste durchschnittliche Deckung (41 %) der angesäten Arten auf (Abb. 13). Dahinter liegen in absteigender Reihenfolge die stresstolerante Mischung «SS» (32 %), die polyvalente Mischung «CSR» (29 %) und der Kontrollbereich «KT» (20 %). Die ubiquitäre Mischung «TV2» weist nach drei Beobachtungsjahren eine höhere Keimrate (25 %) auf als die ruderalen Mischung RR (17 %) (Abb. 6).

Die Analyse sämtlicher Daten von 2020 bis 2023 ergibt das gleiche Bild wie in Cousset. Der Vergleich zwischen den mit den verschiedenen Mischungen angesäten Bereiche und den nicht angesäten Kontrollbereichen zeigt einen signifikanten Unterschied bei der Deckung durch ausgesäte Arten gegenüber spontanen und problematischen Arten (Kruskal-Wallis $p = 0,006$). Werden nur die Daten von 2023 betrachtet (Kruskal-Wallis $p = 0,184$), so fällt der Unterschied weniger signifikant aus, weil die Kontrollbereiche sich mit der Zeit mit Arten aus den Mischungen anreicherten. Zur Validierung der letzten Feststellung wurden die gleichen Analysen ohne Berücksichtigung der Kontrollbereiche durchgeführt. Daraus ergab sich ein nicht signifikanter Unterschied (Kruskal-Wallis $p > 0,05$).

Demzufolge erzielt die Aussaat verglichen mit dem Kontrollbereich tatsächlich eine Wirkung; der Kontrollbereich wird mit der Zeit von den in der Nähe angesäten Arten besiedelt.

Störungen

In Le Landeron (Anhang 1 B) wurde im Juni 2020 anlässlich 2-wöchiger Gleiserneuerungsarbeiten die etablierte Vegetation durch übermässige Begehung weitgehend zerstört. Aufgrund dieser Gleisarbeiten musste die nördliche Hälfte der Plots gänzlich neu angesät werden, die andere Hälfte wurde belassen, um zu prüfen, wie sich die verbleibende Vegetation entwickelt. Bis 2023 hatte sich wieder eine Vegetationsdecke gebildet (Abb. 16).

Im August 2021 wurden auf Plot 23 und 24 Schwellen gelagert; die Verbleibdauer ist unbekannt, sie wurden auf Anfrage entfernt. Inwiefern sich die deponierten Schwellen auf die Vegetationsentwicklung ausgewirkt haben, kann nicht eruiert werden.

Um mögliche Unterschiede zwischen der Entwicklung der angesäten Arten in einem «gestörten» Plot gegenüber einem erneut angesäten Plot zu identifizieren, wurden die Erhebungen zu zwei Plots verglichen. Die Vegetationsdecke nimmt in beiden Fällen zu; die Analyse bestätigt, dass die angesäten Arten sich rascher und regelmässiger entwickeln und schneller wachsen als die spontanen Arten. Nach drei Jahren ist kein deutlicher Unterschied zwischen dem gestörten, nicht neu angesäten Plot (SS-1) und dem zerstörten, neu angesäten Plot (SS-4) festzustellen, da in beiden Plots die angesäten Arten überwiegen. Dies deutet darauf hin, dass die verwendeten Mischungen eine hohe Regenerationsfähigkeit aufweisen und Trittschäden langfristig aushalten können (Abb. 17).

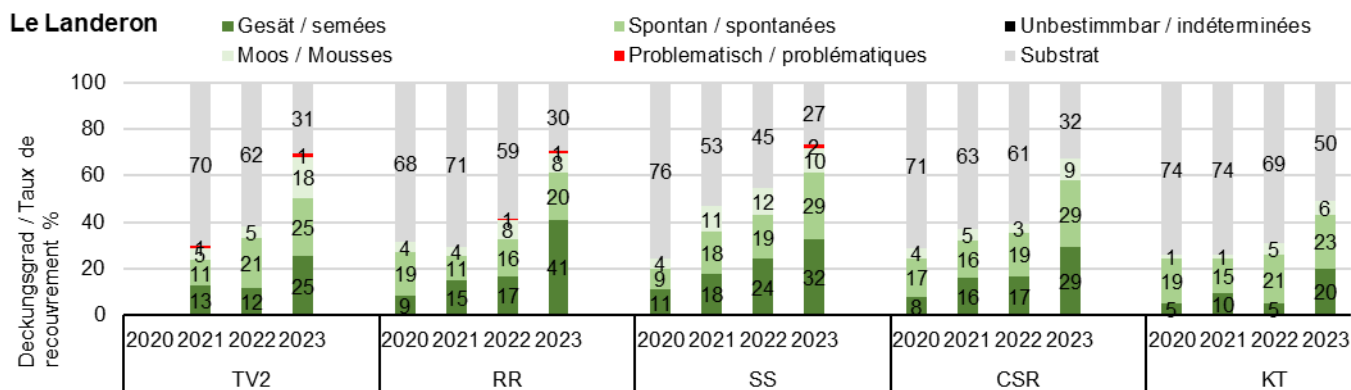


Abbildung 14: Entwicklung des Deckungsgrads der Vegetation nach Kategorie im Verlauf der Jahre am Standort Le Landeron

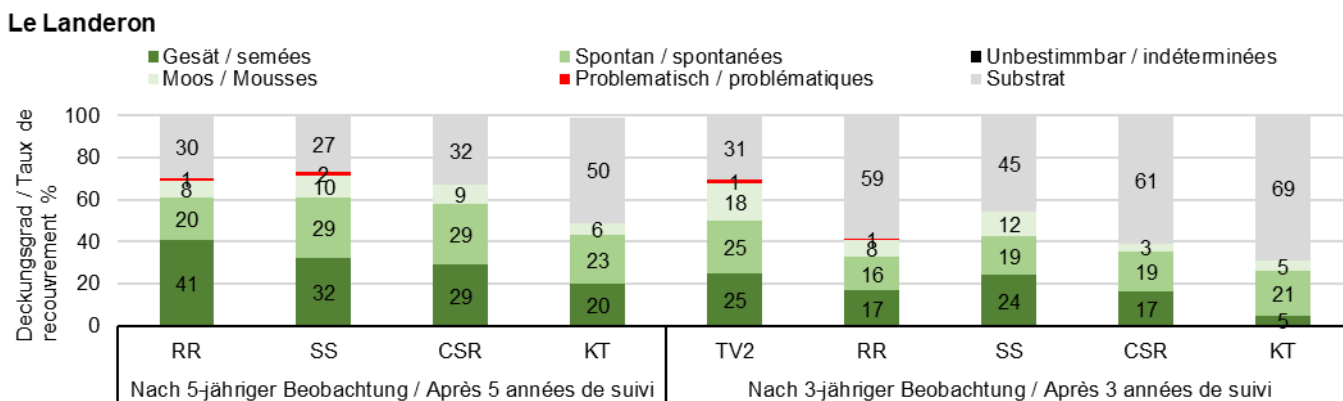


Abbildung 15: Deckungsgrad der Vegetation nach Kategorie nach fünf und drei Beobachtungsjahren am Standort Le Landeron.



Abbildung 16: Le Landeron. 16.06.2020: Gleiserneuerungsarbeiten, Übersicht der südlichen Versuchsfächen. 15.05.2023 von links nach rechts: Plots 9-11 (KT, CSR, RR) und Plot 12 (SS) mit Übersicht über die nördliche Hälfte des Standortes.

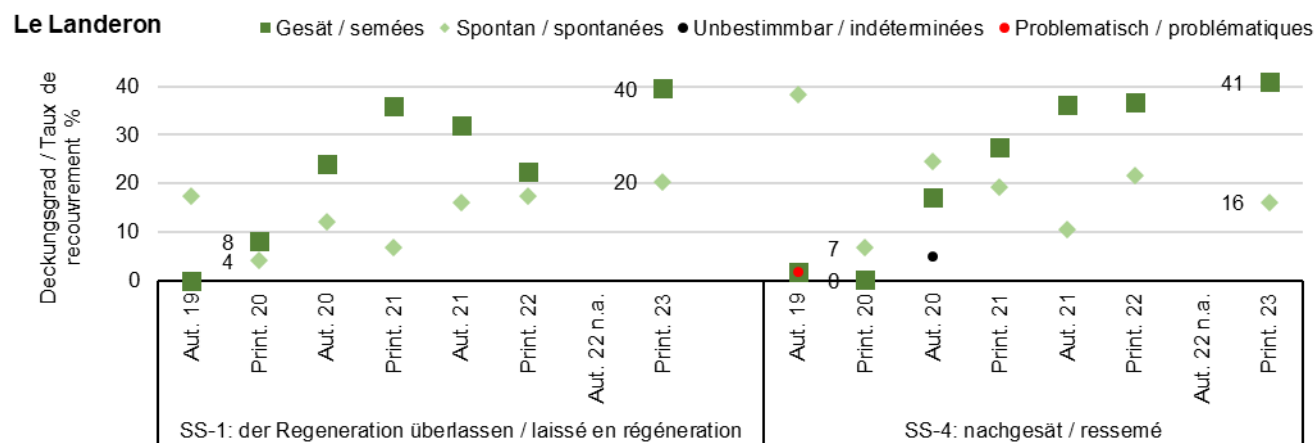


Abbildung 17: Le Landeron. Regeneration der Vegetation der teilweise zerstörten Wiederholung SS-1 (Fotos und linke Abbildung) im Vergleich zur vollständig zerstörten und neu angesäten Wiederholung SS-4 (rechte Abbildung).

Cornaux

Die angesäten Versuchsplots weisen eine höhere Deckung mit Gefässpflanzen und Moosen auf (50–60 %) als die Kontrollplots (max. 33 % im Jahr 2021). Der Beitrag der angesäten Arten variiert im Laufe der Zeit. 2022 wird ein Höchstwert von 13 % angesäte Arten erzielt (Abb. 18). Problematische Arten sind im Kontrollplot im Jahr 2020 etwas stärker vertreten (5 %), nehmen mit der Zeit ab und stabilisieren sich – wie auf den 2022 und 2023 angesäten Flächen – bei 1–2 %. Die angesäten Plots weisen einen höheren Anteil an Moosen auf (~15 %) als die Kontrollplots (~10 %).

Störungen

In Cornaux (Anhang 1 C) wurden keine gravierenden Störungen festgestellt.

Muttenz

In Muttenz bleibt die Deckung der Vegetation insgesamt sehr gering (Abb. 19). Auf den angesäten Parzellen verdoppelt sie sich zwischen 2020 (~10 %) und 2021 (~20 %). Der Höchstwert von 40 % wird auf den Plots mit der Mischung SS mit 24 % Gefässpflanzen erreicht. Die mit der Mischung TV2 übersäten RR-Plots zeigen eine Zunahme der Moosdeckung sowie der angesäten und spontanen Arten. In den nicht angesäten Plots fällt die Zunahme deutlich geringer aus. Anders als an den oben beschriebenen Standorten bleibt der Anteil der angesäten Arten im 2. Versuchsjahr moderat.

2020 wird ein hoher Anteil an problematischen Arten festgestellt. Sie machen in allen Plots rund 50 % der Krautschicht aus. 2021 sind die Problemarten praktisch verschwunden, während der Anteil an spontanen Arten und Moosen stark zunimmt.

Störungen

Warum praktisch alle Aussaaten gescheitert sind und auch spontane Arten kaum vorkommen, bleibt ungeklärt. Ein Unterschied gegenüber den anderen Standorten sind wahrscheinlich die ausgeprägten Trittschäden wegen der Begehung oder Wartung der Böschung (Anhang 1D). Da die Etablierung an diesem Standort schon im 2. Versuchsjahr als gescheitert betrachtet werden musste, wurden nach 2021 nur noch qualitative, keine quantitativen Vegetationserhebungen durchgeführt.

Im Herbst 2023 wurde oberhalb einiger Plots eine Brückenerneuerung durchgeführt, bei der auch Gleis-Maschinen zum Einsatz kamen. Diese haben das Substrat teilweise sehr beansprucht. Somit wirken sich diese Arbeiten nicht auf die Resultate aus. Allerdings zeigen sie wie 2020 in Le Landeron auch, dass die obersten Substratzentimeter

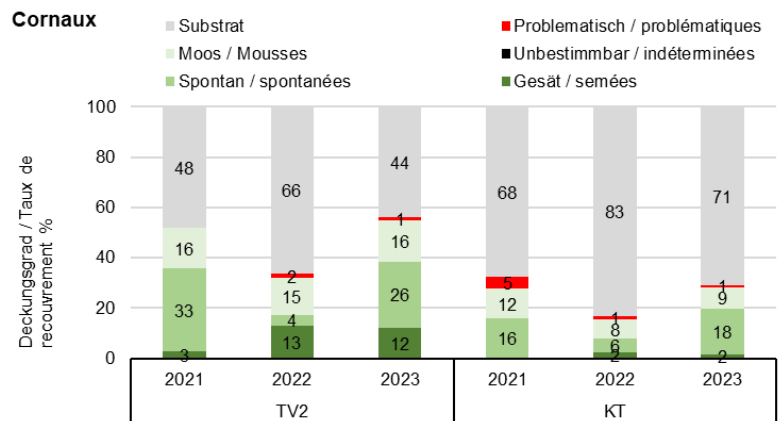


Abbildung 18: Entwicklung des Deckungsgrads von 2021 bis 2023 am Standort Cornaux

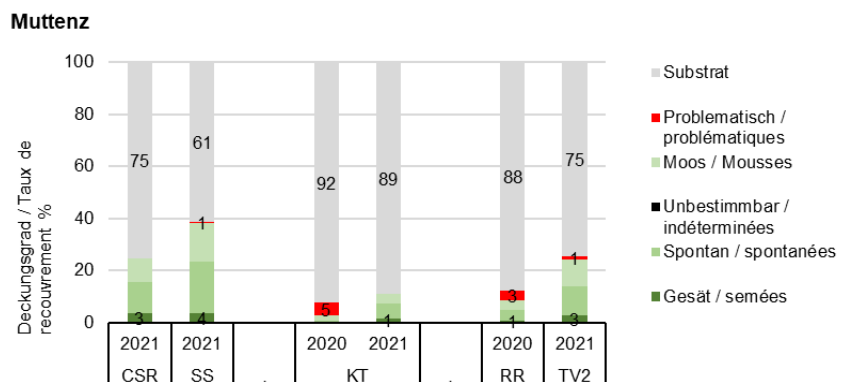


Abbildung 19: Deckungsgrad am Standort Muttenz. Nach zwei Jahren Beobachtung der polyvalenten Mischung (CSR), der stresstoleranten Mischung (SS) und der Kontrollfläche (KT); nach einem Jahr Beobachtung der ruderalen Mischung (RR) und der ubiquitären Mischung (TV2).

aus verschlammtem Kalksteinschotter leicht aufgewühlt und die etablierte Vegetation, vor allem Jungpflanzen, so zerstört werden.

Bavois

In Bavois ist eine durchschnittliche und über die Zeit relativ konstante Deckung mit Gefässpflanzen festzustellen. Der Anteil der Arten auf der Kontrollfläche ändert sich jedoch innerhalb eines Jahres erheblich (Abb. 20).

Wie in Muttenz bleibt der Anteil der angesäten Arten im 2. Versuchsjahr unbedeutend, sodass die Erhebungen nicht fortgesetzt wurden.

Ebenfalls wie in Muttenz wird 2020 ein hoher Anteil an Problemarten und 2021 eine deutliche Abnahme festgestellt. Auf den zuerst mit der Mischung CC und anschliessend mit der Mischung TV2 angesäten Parzellen verringert sich dieser Anteil um 90 %. Der markante Rückgang ist auch auf den Kontrollplots festzustellen: Die Problemarten nehmen um 85 % und die Moose um 56 % ab, während die spontanen Arten um 190 % zunehmen. Der geringe Anteil der angesäten Arten nimmt sogar um das Dreifache zu.

Bavois

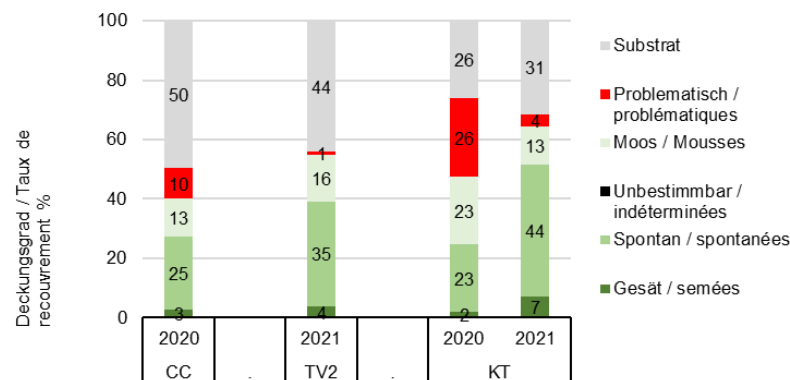


Abbildung 20: Deckungsgrad am Standort Bavois.

Nach zwei Jahren Beobachtung der Kontrollfläche (KT); nach einem Jahr Beobachtung für die konkurrenzstarke Mischung (CC) und die ubiquitäre Mischung (TV2).

Störungen

Mit dem Standort in Bavois (Anhang 1 E) sollte ein «echtes» Bankett im Versuch integriert werden. Es war das aufgrund der Zugänglichkeit bestgeeignete Bankett, das für den Versuch zur Auswahl stand, jedoch waren die Etablierungsbedingungen auch hier von Beginn an schwierig: Einige Bereiche waren sehr intensiv mit spontaner Vegetation besiedelt, andere jedoch quasi vegetationsfrei, wo dann angesät wurde.

Die Konkurrenzfähigkeit kam nicht zum Ausdruck. Grund dafür ist wahrscheinlich, dass die Plots vor der Aussaat nicht gejätet wurden. Die nach der Aussaat der Mischung CC im Jahr 2019 durchgeführten Arbeiten hätten als Hindernis für die Etablierung der Mischung verstanden werden können. Doch die 2020 gesäte Mischung TV2 war genauso wenig erfolgreich. Möglicherweise wurden die Samen der Mischung vom Luftzug der mit 160 km/h vorbeifahrenden Züge oder von heftigen Niederschlägen in die Böschung geweht bzw. gespült, bevor sie keimen konnten. Da die Versuchspartellen sehr schmal und auf einem Bankett entlang den Bahnstrecken angeordnet sind, erscheint es wahrscheinlicher, dass der Einfluss der Randstreifen und der bereits etablierten Vegetation zu gross war.

Dole

Bei der SNCF wurde der in der Machbarkeitsstudie [25] geschilderte Standort Villeneuve-Saint-Georges zugunsten von Dole (Département Jura) aufgegeben. Bei diesem handelt es sich um einen grossen, mässig genutzten Rangier- und Abstellbahnhof. Er liegt circa 105 km Luftlinie von Neuchâtel entfernt.

Der Rangierbahnhof war vor Anlage des Versuches stark mit hüfthoch wachsender spontaner Vegetation überwuchert, insbesondere auch mit Gehölzen und zahlreichen Neophyten-Arten. Im Versuch der SNCF [24] werden 16 verschiedene Mischungen auf jeweils 80 m² in drei Wiederholungen getestet, darunter auch kommerziell vermarktete Mischungen aus dem internationalen Handel. Angesät wurde mittels Hydroseeding (Anspritzbegrünung im Nassansaatverfahren) sowohl im Zwischengleisbereich als auch im Gleis.

Bis Mitte des 20. Jahrhunderts wurden im Gleis Schlacken verwendet, danach Schotter, die mittlerweile stark vergrust sind und teils sandige Bereiche bilden. Im Zwischengleisbereich ist der Substrataufbau unterschiedlich. Es

wurden keine C_{org} -Analysen durchgeführt, es darf aufgrund langjähriger Akkumulation aber von einem im Vergleich zu den Schweizer Standorten sehr hohen Gehalt ausgegangen werden (Anhang 1 G).

Anhand des visuellen Eindrucks kann festgehalten werden, dass sich viele Mischungen gegenüber der spontanen Vegetation durchsetzen, darunter auch die Schweizer Mischung CC (Abb. 21). Die zu diesem Zeitpunkt durchgeführte Vegetationsaufnahme ergab, dass alle in der CC-Mischung enthaltenen Arten auf den Versuchsflächen aufgelaufen sind. Trotzdem lässt sich die Wirksamkeit der Mischungen in puncto Ansiedlung und Deckung schwer evaluieren und vergleichen. Die Versuchsbedingungen an diesem Standort sind hinsichtlich Beschaffenheit und Substratdicke zu heterogen.

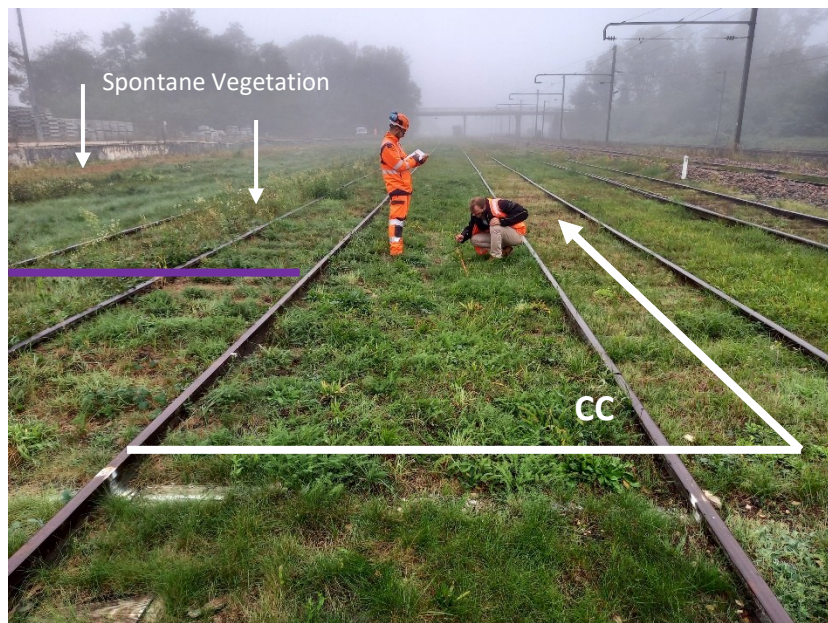


Abbildung 21: Verschiedene Mischungen im Vergleich zur spontanen Vegetation

Ex-situ-Anlage von Lullier

Die erste Aussaat von Februar 2020 war ein Misserfolg. Auf die Aussaat folgte zu Beginn der Vegetationsperiode eine lange Trockenzeit (Anhang 3). Darauf wurden die im Mai aufgegangenen Jungpflanzen buchstäblich von der Sommerhitze verbrannt. In der umfassenden Erhebung wurden nur einige Arten beobachtet. Deshalb wurden im Dezember 2020 alle Mischungen erneut angesät.

Die Vegetationsdecke am Standort Lullier blieb jedoch insgesamt gering (Abb. 22). Sie betrug bei den Mischungen CSR und SS maximal 10–20 %. Bei der Mischung TV2 erreichte sie 2023 30 % und bei RR 2023 44 %. Der insgesamt sehr geringe Anteil an Problemarten verändert sich im Laufe der Zeit. Dagegen verzeichnen die angesäten Arten einen sehr hohen Anteil an der gesamten Vegetationsdecke (in den meisten Fällen für alle Mischungen und Kontrollflächen über 75 %). Auf der Kontrollfläche sind ähnliche Deckungsgrade zu beobachten wie bei den Mischungen CSR und SS. Bei den Mischungen CSR, SS und auf der Kontrollfläche nimmt der Anteil der spontanen Arten im Frühling 2023 stark zu (Zunahme um 12–14 %).

Anders als bei den Substraten der In-situ-Versuchsstandorte wurde in Lullier das Substrat direkt ab der Kiesgrube geliefert und war also «steril», d. h. es enthielt keine Samenbanken einer präetablierten Flora. Alle spontanen Floraarten wurden im Versuchsverlauf aus der Umgebung importiert. Daher wurde die organische Substanz des Substrats von Lullier nicht individuell nach Plot analysiert. In einer ersten, vor der Anlage der Plots «vor Ort» entnommenen gemischten Probe wurde ein Gehalt von 17 mg/kg C_{org} – ähnlich wie in Cornaux und Bavois – gemessen. Im März 2023 zeigte die zweite gemischte Probeentnahme aus allen Plots einen Gehalt von 11 mg/kg C_{org} , d. h. arm an organischer Substanz und ähnlich wie in MuttENZ. Der Unterschied zwischen den beiden Proben ist nicht zufällig, sondern geht wahrscheinlich auf die Auswaschung zurück, weil die Dränage in der Anlage stärker ist als unter In-situ-Bedingungen (Anhang 1 G). Diese beiden Faktoren erklären die allgemein geringe Deckung.

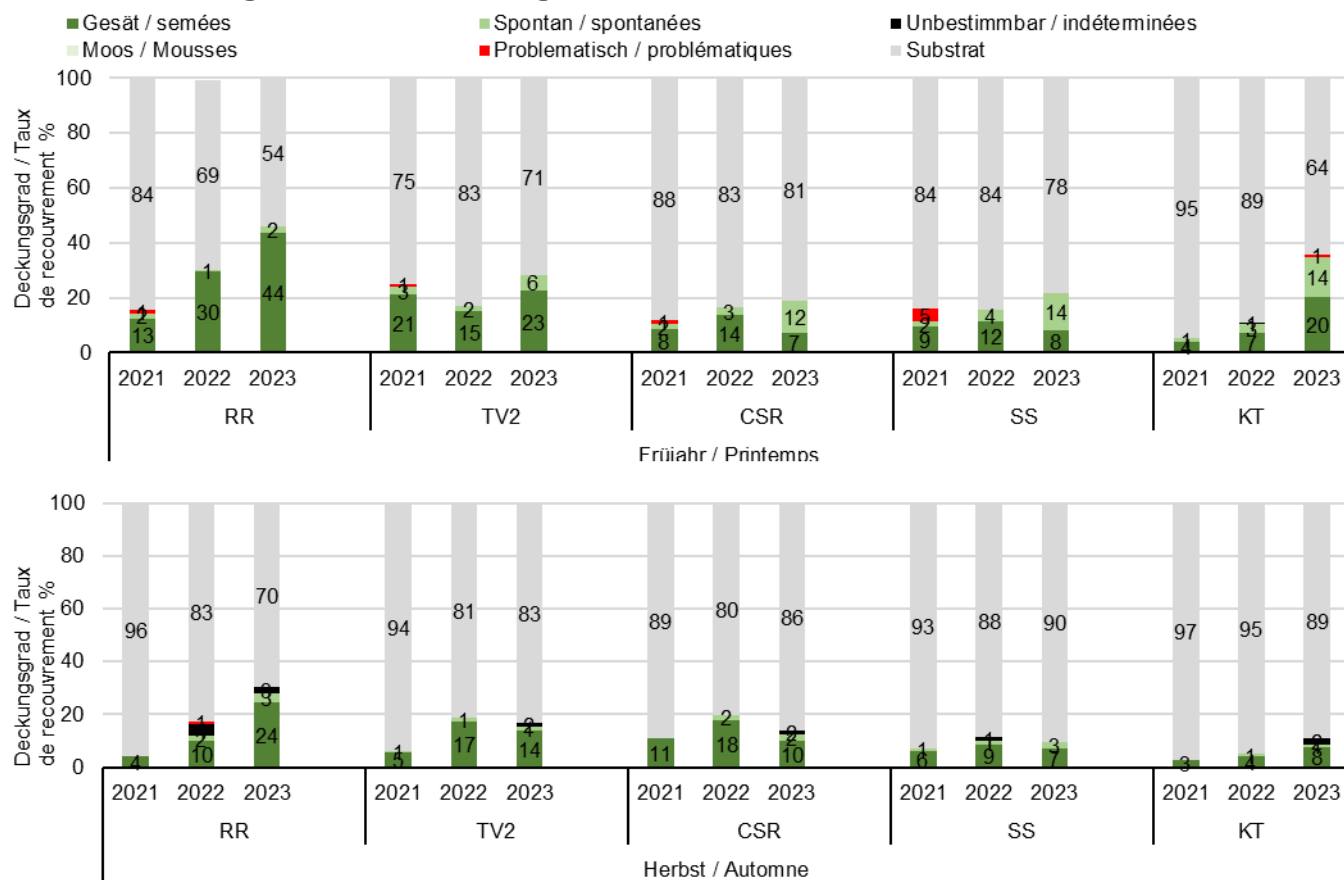
Lullier: ex situ Anlage auf Dach/ site aménagé sur toiture

Abbildung 22: Entwicklung des Deckungsgrads nach Mischung in der In-situ-Anlage Lullier von 2021 bis 2023 im Frühjahr (oben) und im Herbst (unten)

4.2.1.2 Qualitative Analyse der spezifischen Zusammensetzung: Beispiel des Standorts Cousset

Die qualitative Analyse zur Ansiedlung der Mischungen an den Standorten konzentriert sich auf die Artenzusammensetzung, den biologischen Typ (einjährig, mehrjährig) und die nach 5 Beobachtungsjahren – für die ubiquitäre Mischung «TV2» nach 3 Jahren – festgestellte Artenvielfalt. Anhand der Analyse lassen sich die Beschaffenheit, die Langlebigkeit und die Vielfalt des Pflanzenteppichs nach Modalität eruieren. Für die meisten Standorte ist eine aussagekräftige Interpretation wegen der Begehungen, die das Pflanzenwachstum stark einschränken (z. B. Muttenz und Bavois, vgl. vorheriges Kapitel), und wegen unvorhergesehener Störungen – entgegen den Absprachen mit den Standortbetreibern (Trittschäden, Arbeiten, zu frühe Mahd usw., vgl. vorheriges Kapitel) – leider nicht möglich. Aufschlussreich ist allein die Situation in Cousset, wo weniger Störungen verzeichnet wurden (vgl. vorheriges Kapitel). Deshalb soll diese Situation im Detail beschrieben und analysiert werden. Die zeitliche Entwicklung der Artenvielfalt (Abb. 23), d. h. die Anzahl Arten pro Plot, wird unten nach Mischung diskutiert – ausser für die konkurrenzfähige Mischung CC, die nicht in Cousset, sondern in Muttenz, Bavois und Dole (F) angesät wurde.

Ruderale Mischung «RR»

Fünf Jahre nach der Aussaat zeichnet sich die aus der ruderalen Mischung «RR» (Abb. 24) hervorgegangene Pflanzengesellschaft durch einen sehr hohen Anteil an einjährigen Arten aus, deren spezifischer Beitrag unter den 20 häufigsten Arten bei über 60 % liegt (spezifischer Beitrag sB = 61,8 %). Dazu gehören fünf herbst- und winterkeimende Arten: *Medicago minima*, *Arenaria serpyllifolia*, *Geranium robertianum* subsp. *purpureum*, *Saxifraga tridactylites* und *Bromus tectorum* machen fast 40 % (sB = 38,2 %) der Biomasse des Pflanzenteppichs aus. Diese Gesellschaft von dominierenden einjährigen Pflanzen ist gleich wie bei der ubiquitären Mischung «TV2» und

unterscheidet sich mit dem Vorkommen von *Medicago minima* und *Bromus tectorum* positiv gegenüber den anderen Mischungen und den Kontrollplots.

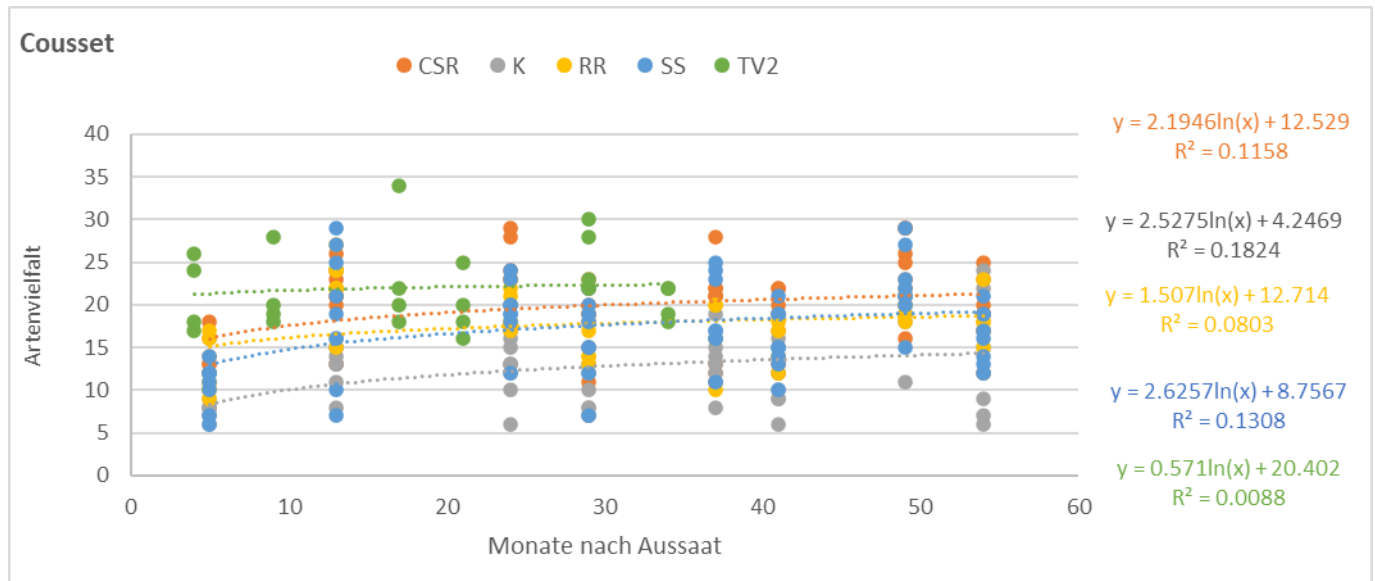


Abbildung 23: Entwicklung der Artenvielfalt der Pflanzen des Pflanzenteppichs nach angesäter Mischung (n = 8 pro Modalität) am Standort Cousset.

(● CSR = polyvalente Mischung ● K = Kontrolle; ● RR = ruderaler Mischung; ● SS = stresstolerante Mischung; ● TV2 = ubiquitäre Mischung)

Bei den mehrjährigen Pflanzen sind 7 Arten in der Biomasse des Pflanzenteppichs signifikant vertreten (sB = 28,8 %). Bei den am häufigsten vorkommenden (*Lotus corniculatus*, *Anthyllis carpatica*, *Sanguisorba minor*...) handelt es sich um polyvalente Arten mit hoher Besiedlungsfähigkeit (dominierende Strategie CRS) und einer geografisch breiten Verteilung. *Festuca laevigata* und *Sedum album* stammen aus angesäten Plots in der Nähe. Diese Gesellschaft von mehrjährigen Pflanzen ist relativ ähnlich wie bei der ubiquitären Mischung «TV2».

Die Anzahl Arten pro Plot steigt progressiv von durchschnittlich 16 im ersten Jahr auf 19 am Ende der 5 Jahre an (Abb. 23). Dies entspricht der vierten hierarchischen Position unter den beobachteten Modalitäten.

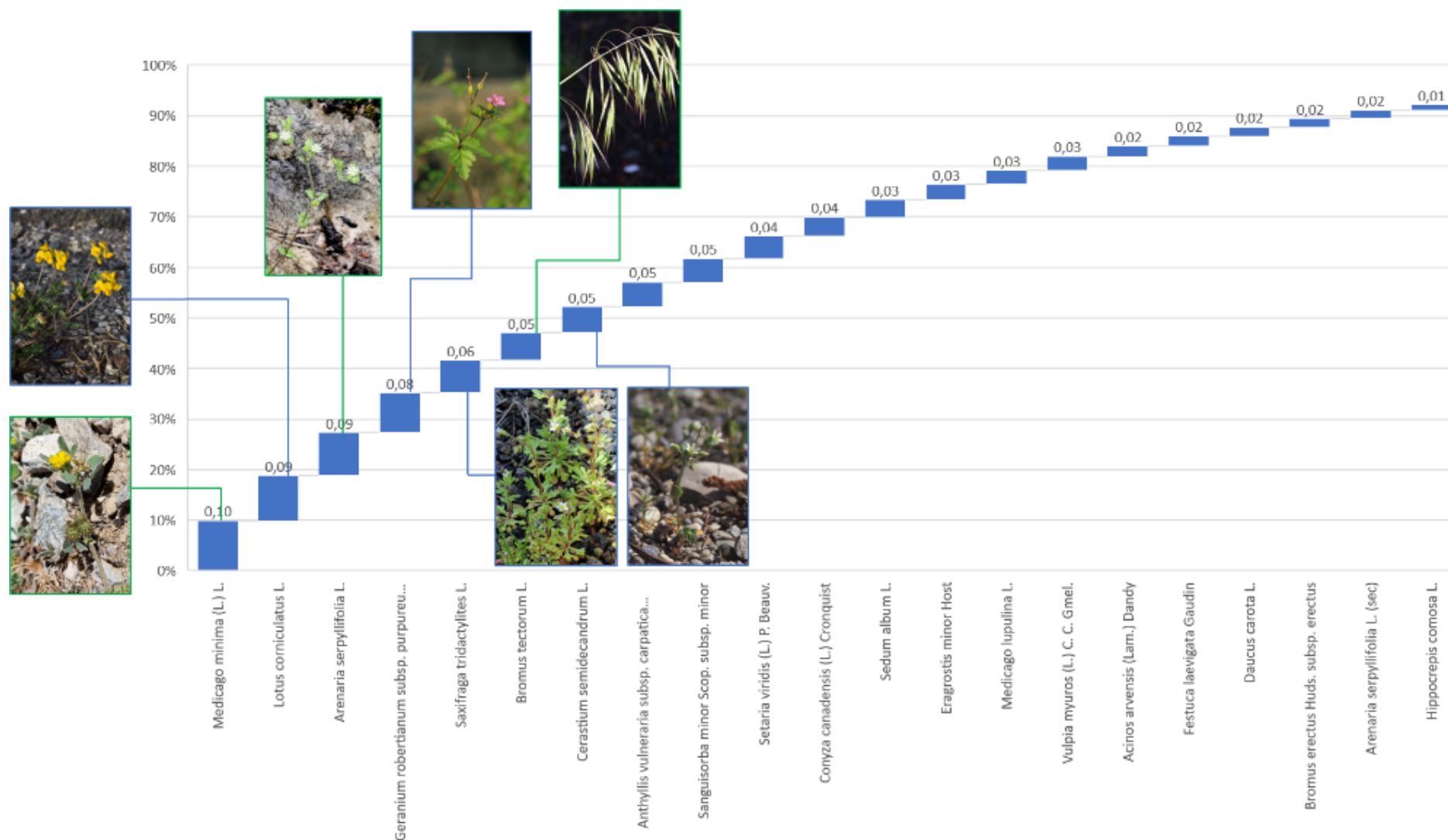


Abbildung 24: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei der ruderalen Mischung «RR» verzeichneten Gefäßpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)

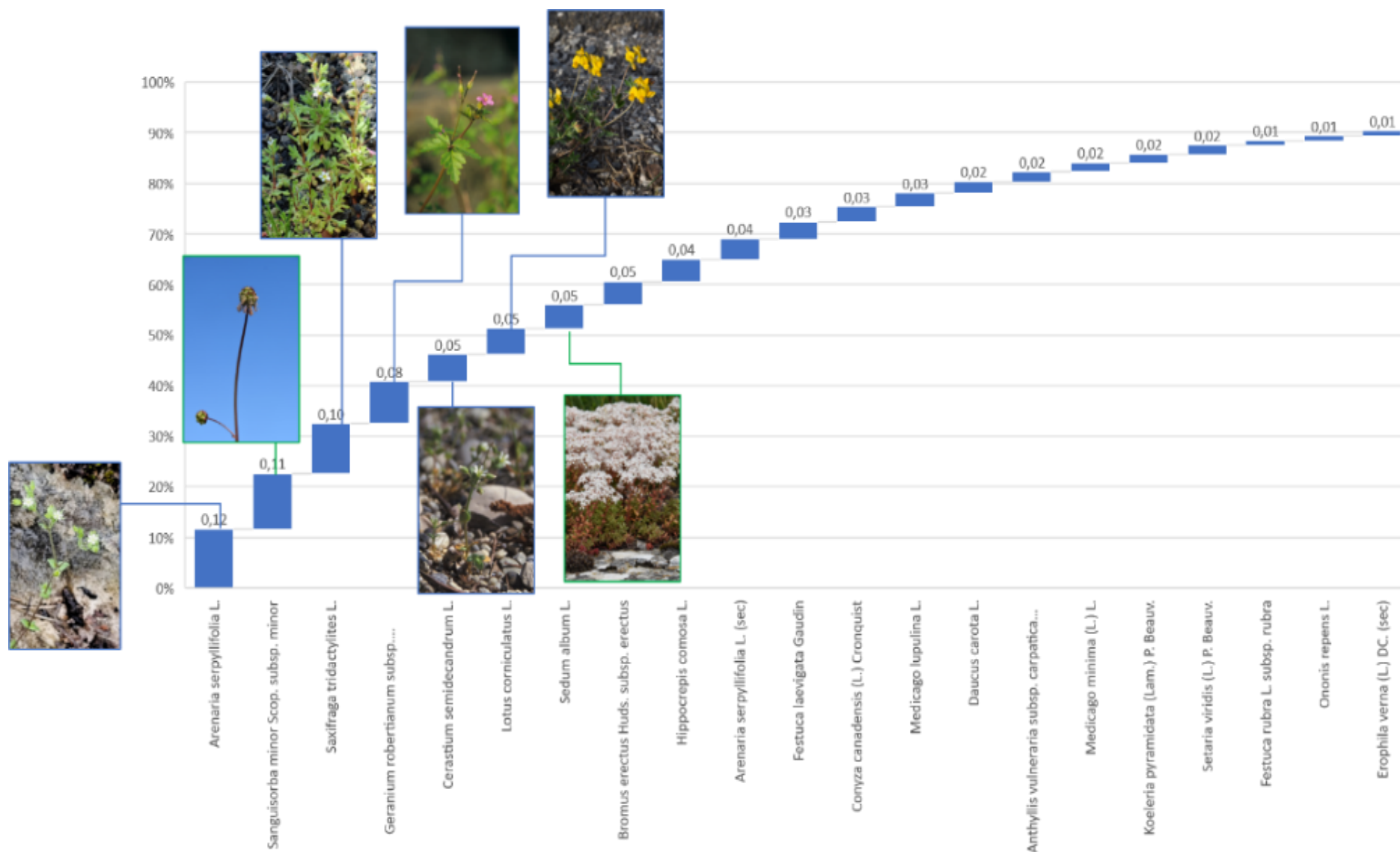


Abbildung 25: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei der stresstoleranten Mischung «SS» verzeichneten Gefäßpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)

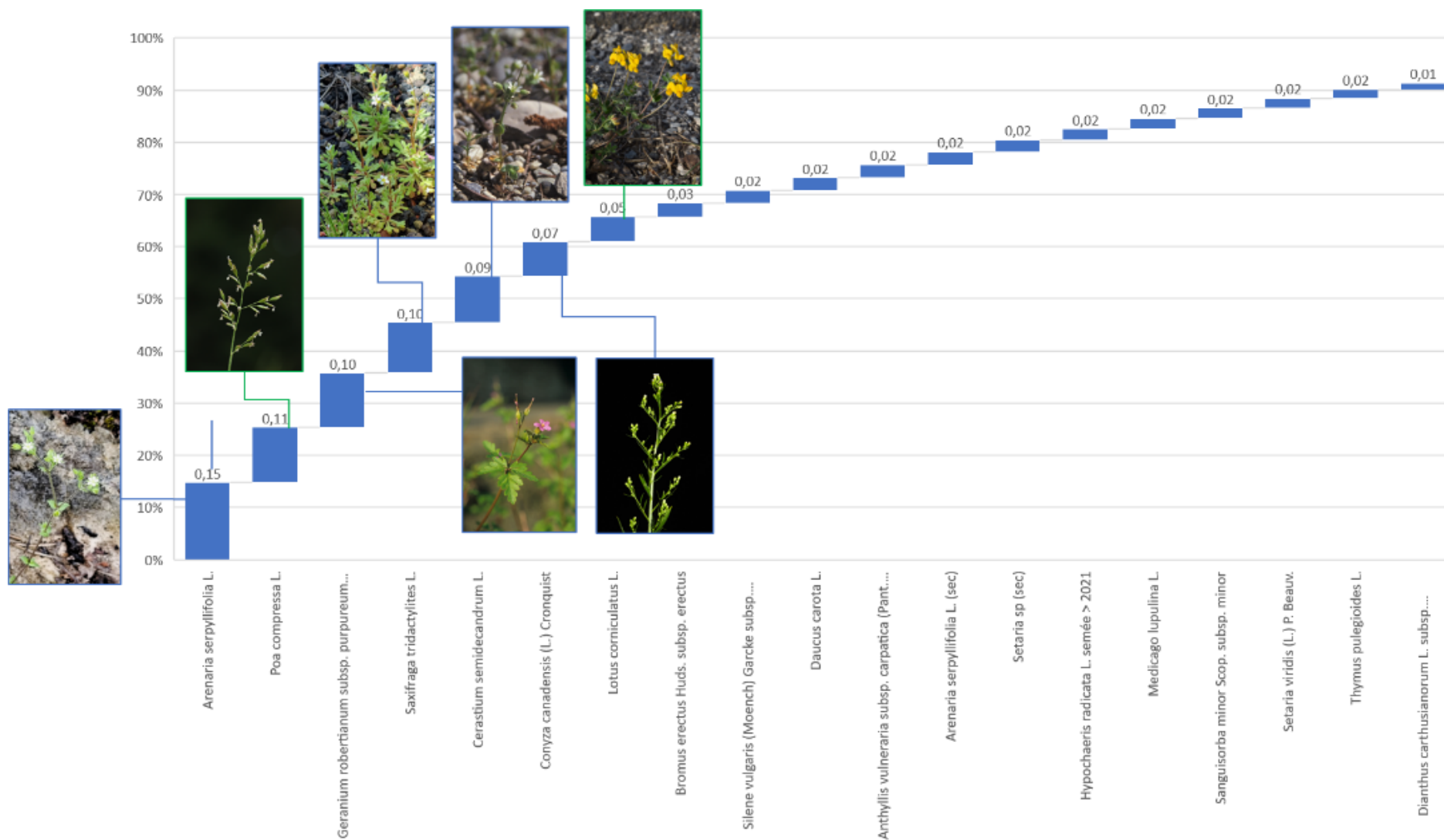


Abbildung 26: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei der polyvalenten Mischung «CSR» verzeichneten Gefäßpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)

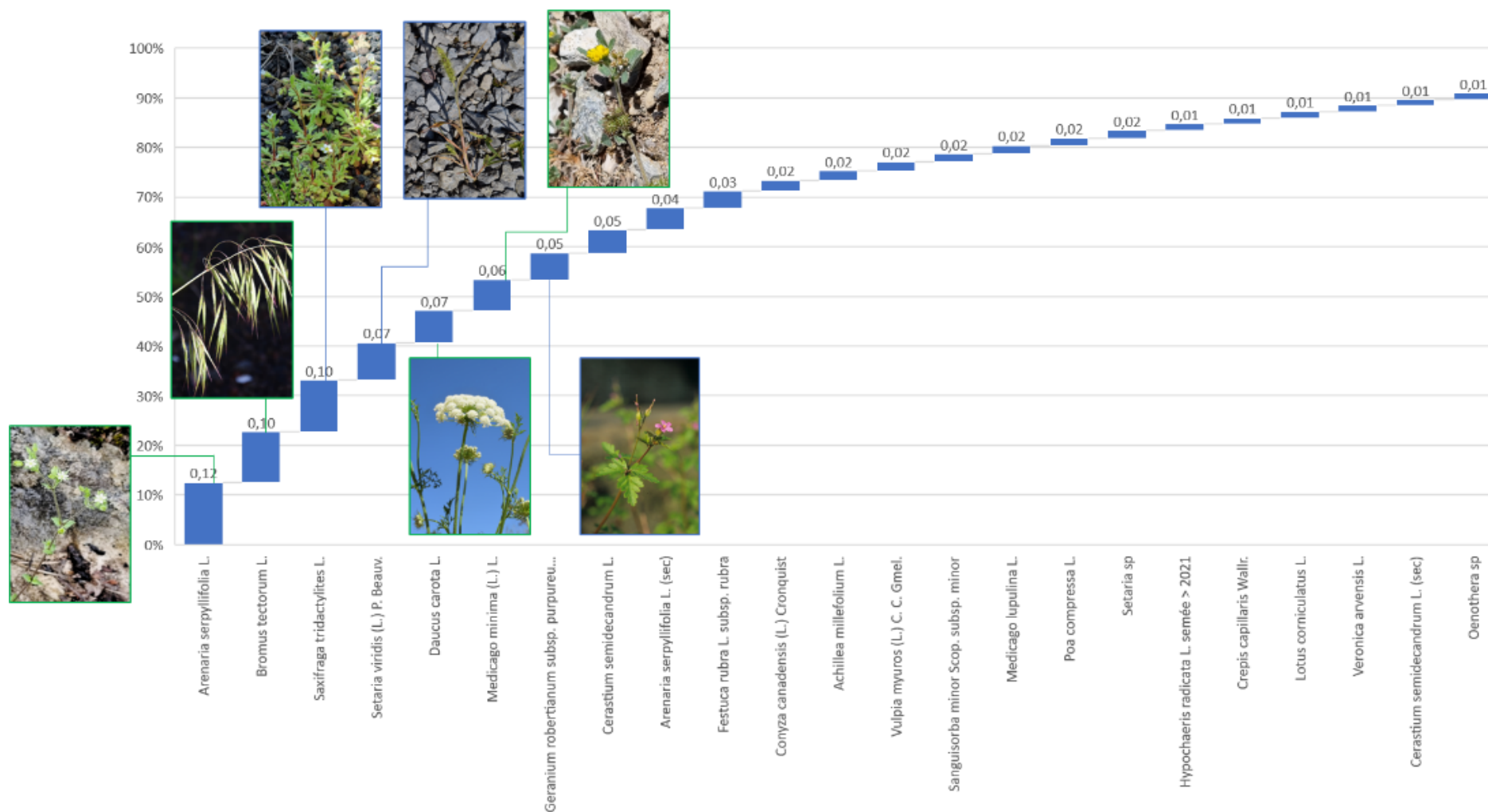


Abbildung 27: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei der ubiquitären Mischung «TV2» verzeichneten Gefäßpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)

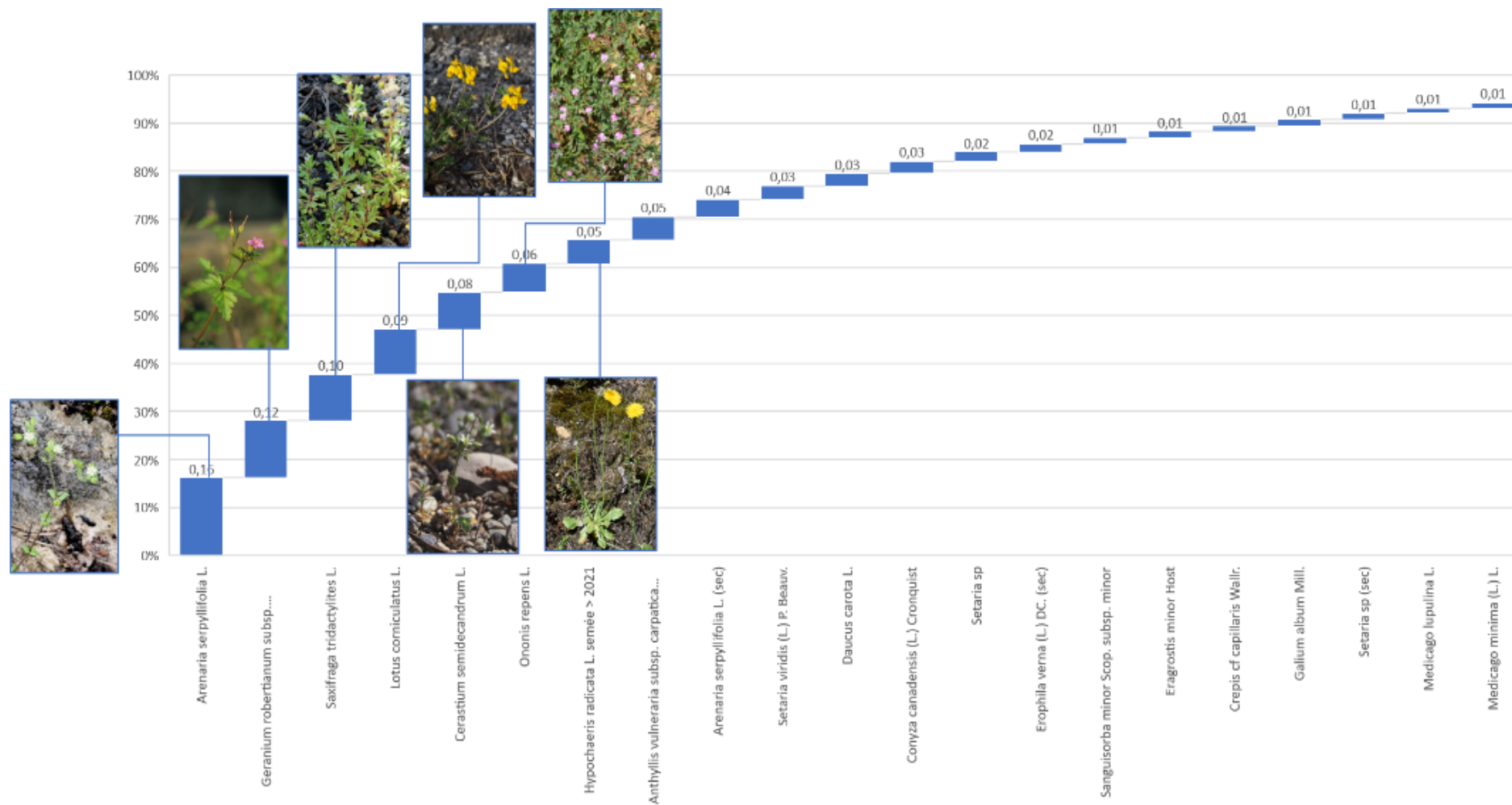


Abbildung 28: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei den nicht angesäten Plots verzeichneten Gefäßpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)

Stresstolerante Mischung «SS»

Fünf Jahre nach der Aussaat zeichnet sich die aus der stresstoleranten Mischung «SS» (Abb. 25) hervorgegangene Pflanzengesellschaft durch einen mittleren Anteil an einjährigen Arten aus, deren spezifischer Beitrag unter den 20 häufigsten Arten bei etwas über 50 % liegt ($sB = 50,4 \%$). Bei diesen einjährigen Pflanzen handelt es sich überwiegend um herbst- und winterkeimende Arten. Die fünf Arten *Arenaria serpyllifolia*, *Saxifraga tridactylites*, *Geranium robertianum* subsp. *purpureum*, *Cerastium semidecandrum* und *Medicago minima* machen rund 40 % ($sB = 41,0 \%$) der Biomasse des Pflanzenteppichs aus. Bis auf *Bromus tectorum* ist diese Gesellschaft fast identisch wie bei der ubiquitären Mischung «TV2».

Bei den mehrjährigen Pflanzen sind 12 Arten in der Biomasse des Pflanzenteppichs signifikant vertreten ($sB = 42,1 \%$). Gegenüber den Mischungen «TV2» und «RR» unterscheidet sich die Mischung «SS» durch einen höheren Anteil an xerophilen mehrjährigen Gräsern ($sB = 12,3 \%$) wie *Bromus erectus*, *Festuca laevigata* und *Koeleria pyramidata*, an Fettkräutern wie *Sedum album* und *Sedum acre* sowie an Kleearten wie *Hippocrepis comosa* und *Ononis repens*.

Die Anzahl Arten pro Plot steigt progressiv von durchschnittlich 15 im ersten Jahr auf 19 am Ende der 5 Jahre an (Abb. 23). Dies entspricht der dritten hierarchischen Position unter den beobachteten Modalitäten.

Polyvalente Mischung «CSR»

Fünf Jahre nach der Aussaat zeichnet sich die aus der polyvalenten Mischung «CSR» (Abb. 26) hervorgegangene Pflanzengesellschaft durch einen hohen Anteil an einjährigen Arten aus, deren spezifischer Beitrag unter den 20 häufigsten Arten bei fast 60 % liegt ($sB = 59,4 \%$). Dazu gehören vier herbst- und winterkeimende Arten: *Arenaria serpyllifolia*, *Geranium robertianum* subsp. *purpureum*, *Saxifraga tridactylites* und *Cerastium semidecandrum* machen etwas über 45 % ($sB = 46,2 \%$) der Biomasse des Pflanzenteppichs aus. Diese Gesellschaft von einjährigen Pflanzen unterscheidet sich von der ubiquitären Mischung «TV2» durch das Fehlen von *Bromus tectorum* und *Medicago minima*.

Bei den mehrjährigen Pflanzen sind 10 Arten in der Biomasse des Pflanzenteppichs signifikant vertreten ($sB = 32,4 \%$). Gegenüber den Mischungen «TV2» und «RR» unterscheidet sich die Mischung «CSR» durch einen höheren Anteil an xerophilen mehrjährigen Gräsern ($sB = 15,1 \%$) wie *Poa compressa* und *Bromus erectus* sowie an Trockenrasenarten wie *Dianthus carthusianorum* und *Thymus pulegioides*.

Die Anzahl der Arten pro Plot steigt progressiv von durchschnittlich 18 im ersten Jahr auf 21 am Ende der 5 Jahre an (Abb. 23). Dies entspricht der zweiten hierarchischen Position unter den beobachteten Modalitäten.

Ubiquitäre Mischung «TV2»

Drei Jahre nach der Aussaat zeichnet sich die aus der ubiquitären Mischung «TV2» (Abb. 27) hervorgegangene Pflanzengesellschaft durch einen sehr hohen Anteil an einjährigen Arten aus, deren spezifischer Beitrag unter den 20 häufigsten Arten bei über 70 % liegt ($sB = 71,9 \%$). Dazu gehören fünf herbst- und winterkeimende Arten: *Arenaria serpyllifolia*, *Bromus tectorum*, *Saxifraga tridactylites*, *Medicago minima* und *Geranium robertianum* subsp. *purpureum* machen rund 50 % ($sB = 49,4 \%$) der Biomasse des Pflanzenteppichs aus.

Nur wenige mehrjährige Arten sind in der Biomasse des Pflanzenteppichs signifikant vertreten: *Achillea millefolium*, *Sanguisorba minor*, *Festuca rubra* und *Lotus corniculatus*. Sie weisen alle eine hohe ökologische Plastizität auf (ökologische Strategie CRS überwiegt). Diese Arten steuern nur einen geringen Anteil von knapp über 10 % zum Pflanzenteppich bei ($sB = 12,5 \%$).

Ab dem ersten Jahr wird pro Plot eine relativ stabile hohe Anzahl Arten beobachtet (Abb. 23): In den 3 Beobachtungsjahren wurden durchschnittlich 21 bis 22 Arten erfasst, wobei der Höchstwert bei 34 lag. Dies ist der höchste Wert aller Modalitäten.

Nicht angesäte Kontrollplots «KT»

Fünf Jahre nach der Aussaat zeichnet sich die Pflanzengesellschaft in den nicht angesäten Kontrollplots (Abb. 28) durch einen sehr hohen Anteil an einjährigen Arten aus, deren spezifischer Beitrag unter den 20 häufigsten Arten bei über 60 % liegt ($sB = 63,5 \%$). Dazu gehören vier herbst- und winterkeimende Arten: *Arenaria serpyllifolia*,

Geranium robertianum subsp. *purpureum*, *Saxifraga tridactylites* und *Cerastium semidecandrum* machen etwas über 45 % (sB = 45,4 %) der Biomasse des Pflanzenteppichs aus. Diese Gesellschaft von dominierenden einjährigen Pflanzen ist gleich wie bei der polyvalenten Mischung «CSR» und unterscheidet sich durch das Fehlen von *Bromus tectorum* und *Medicago minima* in der ubiquitären Mischung «TV2».

Bei den mehrjährigen Pflanzen sind 7 Arten in der Biomasse des Pflanzenteppichs signifikant vertreten (sB = 28,8 %). Bei diesen Arten (*Lotus corniculatus*, *Hypochaeris radicata*, *Anthyllis carpatica*, *Sanguisorba minor*, ...) handelt es sich um polyvalente Arten mit hoher Besiedlungsfähigkeit (dominierende Strategien CRS) und einer geografisch breiten Verteilung. Sie stammen aus angesäten Plots in der Nähe (vgl. vorheriges Kapitel) und wahrscheinlich aus der nahen Umgebung. Diese Gesellschaft von mehrjährigen Pflanzen ist relativ ähnlich wie bei der Mischung «TV2» und besitzt logischerweise eine ähnliche ökologische Strategie.

Die Anzahl Arten pro Plot steigt progressiv von durchschnittlich 10 im ersten Jahr auf 15 am Ende der 5 Jahre an (Abb. 23). Die Anzahl ist signifikant geringer als in den angesäten Plots.

**Schlussfolgerung: Einfluss des Typs der Mischung auf die Zusammensetzung der Vegetation:
Erkenntnisse aus dem Standort Cousse**

➤ **Ähnlichkeit der Mischungen: relativ homogene Zusammensetzung aus überwiegend einjährigen Arten**

Der Anteil der einjährigen Arten im Pflanzenteppich überwiegt und gestaltet sich hierarchisch wie folgt: Mischung SS (sB = 50,4 %), CSR (sB = 59,4 %), RR (sB = 61,8 %), K (sB = 63,5 %) und TV2 (sB = 71,9 %). Unabhängig von den Mischungen kommen bestimmte Arten in allen Situationen (Aussaat oder nicht, Typ der Mischung) regelmässig und reichlich vor.

Unter den angesäten Mischungen sind die einjährigen, herbst- und winterkeimenden Arten wie *Arenaria serpyllifolia* und *Cerastium semidecandrum* besonders häufig und regelmässig vertreten. Sie kommen auch in den nicht angesäten Kontrollplots reichlich und regelmässig vor, was auf einen ergänzenden und spontanen Beitrag zu diesen Populationen hinweist; der Anteil der angesäten vs. nicht angesäten Pflanzen innerhalb derselben Art ist anhand der einfachen morphologischen Beobachtung nicht quantifizierbar. Die ubiquitäre Mischung «TV2» und die ruderale Mischung «RR» unterscheiden sich durch das Fehlen von *Bromus tectorum* und *Medicago minima*.

Unter den strikt spontanen Arten ist *Geranium robertianum* subsp. *purpureum* am regelmässigsten und reichlichsten vertreten. Diese südeuropäische Art wird in verschiedenen Ländern der Region Mitteleuropa entlang der Eisenbahngleise beobachtet, wo sie ähnliche mikroklimatische Bedingungen vorfindet wie im Mittelmeerraum[53]. Auch *Saxifraga tridactylites* ist im Frühling (März–April) sehr reichlich vorhanden. Die frühe Fruktifikation führt jedoch zum raschen Verschwinden der Populationen.

➤ **Spezifität der Mischungen: Zusammensetzung aus meistens minoritären, jedoch diversifizierten mehrjährigen Arten**

Der Anteil der mehrjährigen Arten im Pflanzenteppich gestaltet sich hierarchisch wie folgt: Mischung TV2 (sB = 12,5 %), RR (sB = 27,6 %), K (sB = 28,8 %), CSR (sB = 32,4 %) und SS (sB = 42,1 %).

Die Spezifität des aus den getesteten Mischungen hervorgegangenen Pflanzenteppichs äussert sich vor allem in der Zusammensetzung aus mehrjährigen Arten, auch wenn deren Anteil am Pflanzenteppich geringer ist.

1. Die stresstolerante Mischung «SS» und die polyvalente Mischung «CSR» unterscheiden sich durch die Ausbildung von xerotoleranten mehrjährigen Arten mit geringer oder begrenzter Ausbreitungsfähigkeit, die im nahen geografischen Umfeld nicht oder kaum vorhanden sind. Die Mischung «CSR» zeichnet sich durch den Beitrag der mesoxerophilen mehrjährigen Halbtrockenrasen-Arten (*Mesobromion*) wie *Dianthus carthusianorum* oder *Thymus pulegioides* aus. Die Mischung «SS» ist durch den Beitrag der xerophilen mehrjährigen Arten diversifizierter Familien, die für sehr trockene Rasen (*Xerobromion*) typisch sind, wie jene der Gräser (*Festuca laevigata*, *Koeleria pyramidata*), der Dickblattgewächse (*Sedum album*, *Sedum acre*) oder der Kleearten (*Hippocrepis comosa*) gekennzeichnet.
2. Die ubiquitäre Mischung «TV2», die ruderale Mischung «RR» und die nicht angesäten Kontrollplots weisen eine weniger spezialisierte mehrjährige Flora auf (reichliches Vorkommen von *Achillea millefolium*, *Lotus*

corniculatus, *Hypochaeris radicata*, *Anthyllis carpatica*, *Sanguisorba minor*...), die häufig in unterschiedlichsten Umgebungen (Blumenwiesen, Skipisten, Fließgewässerufer...) eine ökologische Sukzession initiieren. Diese polyvalenten Arten mit hoher Besiedlungsfähigkeit weisen eine geografisch breite Verbreitung auf. In der Ingenieurbiologie werden diese Arten wegen ihrer ausgeprägten Polyvalenz und hohen Ausbreitungsfähigkeit als «Ersatzräder» bezeichnet. Sie können gegebenenfalls durch Populationen aus dem nahen geografischen Umfeld verstärkt werden.

➤ Aussaat bereichert die Vielfalt der Pflanzengesellschaften

In Bezug auf die Artenvielfalt trägt die Aussaat signifikant zur Erhöhung des Artenreichtums innerhalb einer Gesellschaft bei: Durchschnittlich beträgt die Differenz zwischen nicht angesäten und angesäten Plots 5 Arten (ausser bei der ubiquitären Mischung «TV2»). Die Differenz wird im Rahmen dieses Versuchs mit der Zeit durch den Randeffect abgeschwächt (angrenzende angesäte Plots führen auf den Kontrollflächen zum Vorkommen von sonst regional fehlenden Taxa wie *Festuca laevigata*). Damit schliesst also die Aussaat besonders bei spezialisierten xerotoleranten Trockenrasenarten eine Ausbreitungslücke.

Mit der Zeit nimmt die Vielfalt der Gesellschaften in 5 Jahren progressiv um durchschnittlich 3 bis 5 Arten zu. Eine Ausnahme bildet die ubiquitäre Mischung «TV2», deren grosse anfängliche Artenvielfalt anscheinend bereits alle ökologischen Nischen «sättigt».

4.2.2 Reaktion der Mischungen: Analysen der Deckung und der Zusammensetzung der Flora an allen Standorten

Dieses Kapitel beschreibt erstens die Ansiedlung der Vegetation und der Flora an allen Standorten unabhängig von den betrachteten Modalitäten (4.2.2.1) und zweitens nach den angesäten Mischungen verglichen mit der (nicht angesäten) Kontrollfläche (4.2.2.2). Zudem werden die Umweltfaktoren analysiert (4.2.2.3). Alle Analysen konzentrieren sich auf die Entwicklung der Vegetationsdecke, u. a. auf den Anteil der angesäten und spontanen (problematischen und unproblematischen) Arten, um die Ansiedlungsgeschwindigkeit der Vegetation nach Modalität zu bestimmen und die Ursachen zu erkennen. In Kapitel 4.2.2.4 werden die allgemeinen Erkenntnisse aus diesen Analysen zusammengefasst.

4.2.2.1 Allgemeine Analyse der Deckung und der Zusammensetzung der Flora

Die Analyse der durchschnittlichen Deckungswerte zeigt unabhängig von der geprüften Mischung und Jahreszeit im ersten Jahr deutliche Unterschiede von 9 % (Muttentz) bis 47 % (Cousset) (Abb. 29). Danach ist an zwei günstigen Standorten eine progressive Zunahme um etwa 10 % pro Jahr festzustellen (von 47 auf 87 % in Cousset, von 25 auf 67 % in Le Landeron, 4 Beobachtungsjahre). Muttentz und Bavois (nur 2 Beobachtungsjahre) sowie Cornaux (3 Beobachtungsjahre) weisen über den gesamten Beobachtungszeitraum eine begrenzte Zunahme der Deckung von nur etwa 10 % auf.

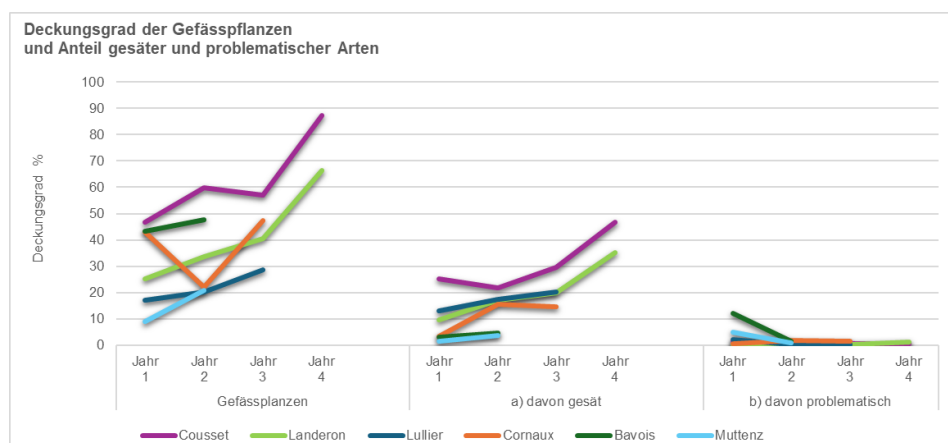


Abbildung 29: Entwicklung der durchschnittlichen Deckung der Gefässpflanzen (links) und Anteil der angesäten Arten (Mitte) sowie der problematischen Arten (rechts) an den sechs Standorten; alle Mischungen, ohne Kontrollplots.

Angesäte Arten

Der Beitrag der angesäten Arten zur Gesamtdeckung ist im gleichen Zeitraum für alle Standorte signifikant höher als jener der spontanen Arten (Kruskal-Wallis $p < 0,05$). Die Deckung zeigt während der 4 Beobachtungsjahre eine stetige Zunahme um etwa 5 %; dies gilt an für das Pflanzenwachstum günstigen Standorten wie Cousset (von 25 auf 47 %) und Le Landeron (von 10 auf 35 %), aber auch für den Ex-situ-Standort Lullier (von 13 auf 20 %). Die steigenden Werte deuten darauf hin, dass die angesäten Arten sich anpassen, an den Standorten vermehren und sogar nicht angesäte Plots besiedeln (vgl. Kap. 4.3.1.2). An den drei für das Pflanzenwachstum generell ungünstigen Standorten verzeichnen diese Arten im ersten Jahr sehr geringe (Muttetz und Bavois < 5 %) bzw. stagnierende Deckungswerte.

Die Analyse der spezifischen Zusammensetzung aller Mischungen an allen Standorten (unter Einbeziehung der Frühlings- und Herbstdaten) zeigt, dass die 10 folgenden angesäten Arten in 5 Jahren am häufigsten angetroffen wurden: *Daucus carota*, *Bromus erectus*, *Sedum album*, *Sanguisorba minor*, *Poa compressa*, *Arenaria serpyllifolia*, *Crepis capillaris*, *Medicago lupulina*, *Plantago lanceolata* und *Anthyllis carpatica* (Tab. 6, Abb. 30 und Anhang 2). Es handelt sich logischerweise um mesoxero- bis xerophile Arten und tendenziell Pionierpflanzen, die an Trockenstandorten häufig vorkommen.

Tabelle 6: Anzahl der Vorkommen der 10 am häufigsten angesäten und an allen Untersuchungsstandorten (Frühling und Herbst) verzeichneten Arten.

Taxon	Vorkommen
<i>Daucus carota</i> L.	326
<i>Bromus erectus</i> Huds. subsp. <i>erectus</i>	308
<i>Sedum album</i> L.	287
<i>Sanguisorba minor</i> Scop. subsp. <i>minor</i>	285
<i>Poa compressa</i> L.	258
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.	225
<i>Crepis capillaris</i> Wallr.	224
<i>Medicago lupulina</i> L.	207
<i>Plantago lanceolata</i> L.	178
<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>carpatica</i> (Pant.) Nyman	177



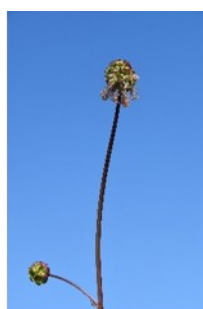
Daucus carota



Bromus erectus



Sedum album



Sanguisorba minor



Poa compressa



Arenaria serpyllifolia

Abbildung 30: Abbildung der am häufigsten angesäten Arten an allen Standorten für alle Mischungen.

© Patrice Prunier

Spontane Arten

Die 10 in den 5 Jahren an allen Standorten (unter Einbeziehung der Frühlings- und Herbstdaten) am häufigsten verzeichneten spontanen Arten sind *Geranium robertianum* subsp. *purpureum*, *Arrhenatherum elatius*, *Conyza canadensis*, *Erophila verna*, *Setaria viridis*, *Echium vulgare*, *Saxifraga tridactylites*, *Galium album*, *Senecio jacobaea* und *Eragrostis minor* (Tab. 7, Abb. 31 und Anhang 10 A). Es handelt sich ebenfalls um mesoxero- bis xerophile und tendenziell Pionierpflanzen, die an Trockenstandorten häufig vorkommen.

Bei den spontanen ein- und zweijährigen Pionierarten handelt es sich mehrheitlich um einheimische Arten (*Echium vulgare*, *Melilotus albus*) oder um Neophyten aus Europa (*Geranium robertianum* subsp. *purpureum*) oder Nordamerika (*Conyza canadensis*, *Erigeron annuus*), die generell anthropophile, thermophile Pflanzengesellschaften auf trockenen bis sehr trockenen Böden (*Echio-Meliloetum*, *Bromo-Erigeretum*) oder auch auf kälteren Böden (*Dauco-Picridetum*) ausbilden [54]. Relativ überraschend ist die Häufigkeit von *Arrhenatherum elatius* und *Galium album*, die sich am Standort Bavois als Besiedlung aus der angrenzenden Böschung her erklärt.

Tabelle 7: Anzahl der Vorkommen der 10 am häufigsten verzeichneten spontanen Arten (Frühling und Herbst) an allen Untersuchungsstandorten.

Taxon	Vorkommen
<i>Geranium robertianum</i> subsp. <i>purpureum</i> (Vill.) Nyman	287
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) J. Presl & C. Presl	222
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	200
<i>Erophila verna</i> (L.) DC. (trocken)	186
<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.	183
<i>Echium vulgare</i> L.	173
<i>Saxifraga tridactylites</i> L.	162
<i>Galium album</i> Mill.	148
<i>Senecio jacobaea</i> L.	98
<i>Eragrostis minor</i> Host	95



*Geranium
robertianum
ssp. purpureum*



*Arrhenatherum
elatius*



*Conyza
canadensis*



*Erophila
verna*



*Setaria
viridis*



*Echium
vulgare*

Abbildung 31: Abbildung der am häufigsten verzeichneten spontanen Arten an allen Standorten
© Patrice Prunier

Problematische Arten

Der Beitrag der Problempflanzen zur Deckung ist gering und statistisch signifikant niedriger als jener der angesäten und der anderen spontanen Arten (Anhang 9). Global machen Problempflanzen im ersten Jahr weniger als 12 % der Deckung aus und stabilisieren sich ab dem zweiten Jahr auf einem sehr niedrigen Stand ($R < 2\%$). Die Kontrollplots der Standorte mit begrenztem Vegetationswachstum wie Muttenz, Bavois und Cornaux weisen jedoch mehr Problempflanzen auf. Der Anteil der Problempflanzen an der Deckung erreichte in Bavois im Jahr 2020 26 %. An diesen 3 Standorten weisen 8 von 10 Plots einen nicht signifikant kleineren Anteil an problematischen Arten als an angesäten und anderen spontanen Arten auf. Problematische Arten keimen folglich vermehrt in den nicht angesäten Bereichen von für das Pflanzenwachstum ungünstigen Standorten; die Konkurrenzwirkung der angesäten und anderen spontanen Arten ist dabei begrenzt.

Die in 5 Jahren an allen Standorten (unter Einbeziehung der Frühlings- und Herbstdaten) am häufigsten verzeichneten problematischen 10 Arten sind *Lactuca serriola*, *Oenothera biennis*, *Pastinaca sativa*, *Rubus fruticosus* aggr., *Hedera helix*, *Epilobium dodonaei*, *Vicia nigra*, *Convolvulus arvensis*, *Potentilla reptans* und *Rubus caesius* (Tab. 8, Abb. 32 und Anhang 10 B). Es handelt sich um meso- bis xerophile, überwiegend anthropophile Pionierarten mit sehr hoher Ausbreitungsfähigkeit entweder über lange Distanzen durch den Wind (*Lactuca serriola*, *Epilobium*...) oder samenfressende Vögel (*Oenothera*, *Pastinaca*) oder im Nahbereich durch vegetative Vermehrung (Ablegerbildung) (*Rubus*, *Potentilla*).

Durch den Wind oder Vögel verbreitete Gattungen (*Lactuca*, *Oenothera*, *Pastinaca*, *Epilobium*, *Cirsium* und *Verbascum*) etablieren sich im Zwischengleisbereich und auf den Banketten. Sie sind dort unerwünscht, weil ihre grossen Stängel (bei *Epilobium* mehrere) beim Trocknen am Ende des biologischen Zyklus hart werden und ihre Steifheit noch zunimmt. Interventionen bei diesen Arten, die auf frisch angelegtem «neuem» Substrat optimal keimen, müssen sofort nach der Ansiedlung erfolgen.

Die Gattungen mit stark vegetativer Vermehrung (*Rubus*, *Potentilla*, *Hedera*, *Clematis* und *Calystegia*) siedeln sich ausgehend von Quellpopulationen, die sich in der Nähe der Bankette an Böschungen mit mächtigerem und kälterem Boden befinden, auf den Banketten an. Zur Bekämpfung dieser Populationen gehört das regelmässige Mulchen der Randbereiche. Nur die Gattung *Equisetum* siedelt sich direkt auf den Banketten an. Punktuell werden auch einige Holzgewächse (*Populus*, *Prunus*, *Ligustrum*) verzeichnet.

Tabelle 8: Anzahl der Vorkommen der 10 am häufigsten verzeichneten problematischen Arten (Frühling und Herbst) an allen Untersuchungsstandorten.

Taxon	Vorkommen
<i>Lactuca serriola</i> L.	181
<i>Oenothera biennis</i> L.	44
<i>Pastinaca sativa</i> L.	40
<i>Rubus fruticosus</i> aggr.	36
<i>Hedera helix</i> L. (ex)	33
<i>Epilobium dodonaei</i> Vill.	28
<i>Vicia sativa</i> subsp. <i>nigra</i> (L.) Ehrh.	22
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	20
<i>Potentilla reptans</i> L.	19
<i>Rubus caesius</i> L.	19



Lactuca serriola



Oenothera biennis



Pastinaca sativa



Rubus fruticosus



Hedera helix



Epilobium dodonaei

Abbildung 32: Abbildung der am häufigsten verzeichneten problematischen Arten an allen Standorten
© Patrice Prunier

4.2.2.2 Analyse der Deckung und der Zusammensetzung der Flora nach Mischungstyp

Deckung

Die Analyse der Bruttodeckungswerte nach Mischungstyp zeigt saisonunabhängig stark variable Daten und eine mit der Zeit leicht steigende Tendenz (Abb. 33). Global sind von allen berücksichtigten Werten die anfängliche Deckung und die Zunahme bei den Mischungen TV2 und RR am stärksten, bei den Mischungen SS und CSR durchschnittlich und bei der Mischung CC und dem Kontrollplot (K) geringer.

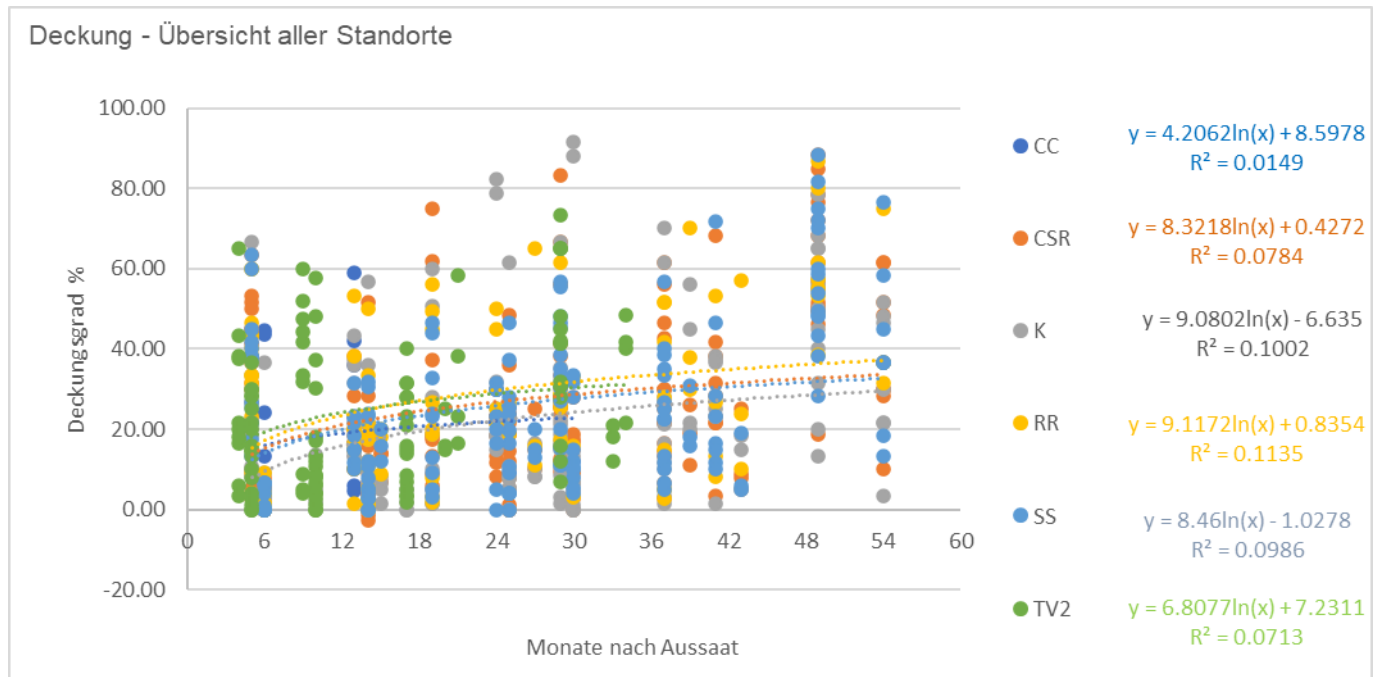
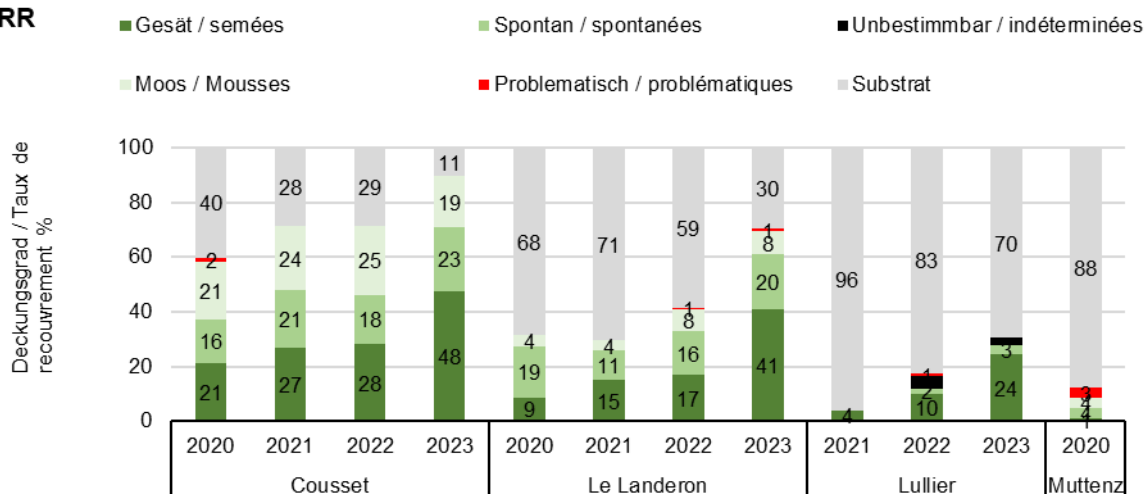
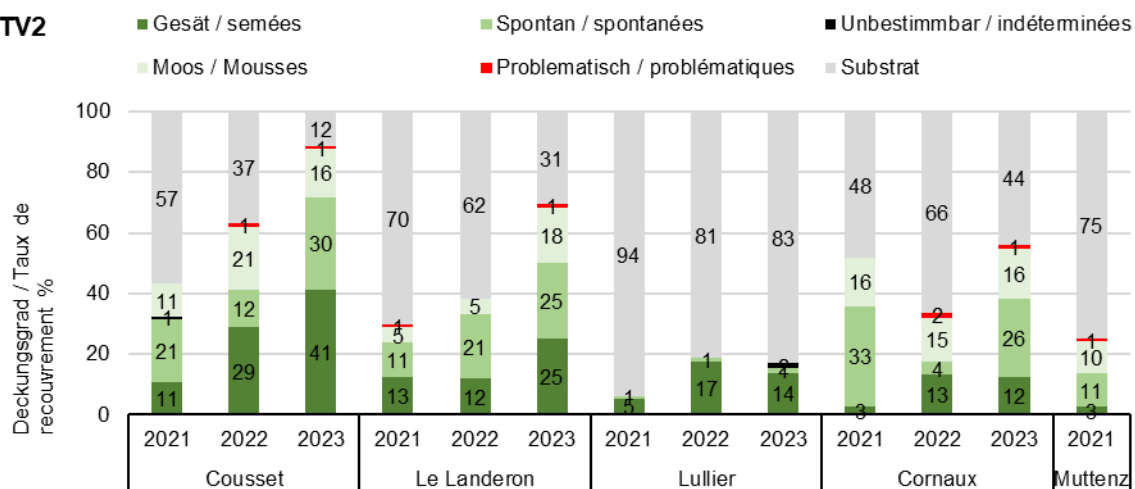


Abbildung 33: Entwicklung der Bruttodeckungswerte nach Mischungstyp für alle beobachteten Plots

Die Entwicklung der gesamten Deckung durch die Mischung RR beruht hauptsächlich auf der Entwicklung des Beitrags der an den Standorten Cousset und Le Landeron angesäten Arten, die zwischen 2020 und 2023 von 21 auf 48 % bzw. von 9 auf 41 % zunahmen (Abb. 34) (wobei dieser Anteil an angesäten Arten am grünen Teppich statistisch nicht unbedingt höher ist als jener der anderen Mischungen, s. Anhang 11). Auch in der Ex-situ-Anlage (Standort Lullier) ist von 2021 bis 2024 eine deutliche Zunahme von 4 auf 24 % festzustellen. Die steigenden Werte deuten darauf hin, dass die angesäten Arten sich anpassen und an den Standorten vermehren, während der Anteil der spontanen Arten ohne eindeutigen Entwicklungstrend in Cousset zwischen 16 und 23 % und in Le Landeron zwischen 19 und 20 % schwankt. Diese Mischung entwickelt sich synchron zur spontanen Flora.

Die Entwicklung der Gesamtdeckung der Mischung TV2 beruht statistisch auf der Entwicklung der an den Standorten Cousset und Lullier angesäten Arten, die zwischen 2021 und 2023 von 11 auf 41 % bzw. von 5 auf 14 % zunahmen (Abb. 35) (wobei dieser Anteil an angesäten Arten am Pflanzenteppich statistisch häufig grösser ist als jener der anderen Mischungen, s. Anhang 9). Auch in Le Landeron nimmt die Deckung deutlich zu. Die Anteile der gesäten und der spontanen Arten sind hier jedoch ausgewogen (durchschnittlicher R = 25 % für beide Kategorien). In Cousset ist die durchschnittliche Deckung höher als in Le Landeron (durchschnittlicher R = 88 % vs. 69 % im Jahr 2023 nach 3 Jahren). Allerdings wurden die Plots am zweiten Standort gestört. Die steigenden Deckungswerte weisen darauf hin, dass die angesäten Arten sich anpassen und an den 3 Standorten vermehren. Diese Zunahme verläuft synchron zu jener der Deckung durch die spontanen Arten (21 und 30 % in Cousset, 11 und 25 % in Le Landeron). Eine Ausnahme bildet der Standort Lullier mit der konstant geringen Deckung durch die spontane Flora (durchschnittlicher R = 4 %). Die Daten am Standort Cornaux sind aufgrund der Variationen schwieriger zu interpretieren. Der überwiegende Anteil spontaner Arten im Jahr 2021 (durchschnittlicher R = 33 %) und im Jahr 2023 (durchschnittlicher R = 26 %) deutet darauf hin, dass sich diese Mischung in Cornaux nicht richtig entwickelt hat. Gleiches gilt für Muttenz und Bavois.

RR**Abbildung 34:** Entwicklung der Deckung für die ruderale Mischung «RR» nach Standort**TV2****Abbildung 35:** Entwicklung der Deckung für die ubiquitäre Mischung «TV2» nach Standort

Artenvielfalt

Die Analyse der Bruttowerte der Artenvielfalt nach Mischungstyp zeigt saisonunabhängig ebenfalls stark variable Daten und im Zeitverlauf tendenziell steigende Werte (Abb. 36). Global ist von allen berücksichtigten Werten die anfängliche Anzahl Taxa und die Zunahme bei den Mischungen TV2 am stärksten, bei den Mischungen RR, SS und CSR durchschnittlich und ähnlich und beim Kontrollplot (K) geringer. Diese allgemeine Tendenz entspricht den Beobachtungen an den Standorten Cousset und Le Landeron, deren 5 Kurven einen ähnlichen Verlauf zeigen (Abb. 37 und 38).

Bei der Mischung TV2 nimmt der durchschnittliche Wert von 13 Arten (6 Monate nach der Aussaat) auf 20 Arten (3 Jahre nach der Aussaat) zu. Die 6 Monate nach der Aussaat beobachteten starken Variationen (um 4 bis 38 Arten, d. h. Faktor 10) erklären sich aus dem breiten Spektrum an Beobachtungssituationen: von den «praktisch sterilen» Plots am Standort Bavois (n = 4) bis zur sehr vielfältigen Situation in Lullier in einem an Ackerunkraut reichen Agrarumfeld, das auch die artenreiche lokale Saatgutbank erklärt.

Bei den Mischungen SS, CSR und RR nimmt der durchschnittliche Wert von 10 Arten (6 Monate nach der Aussaat) auf 20 Arten (4 Jahre nach der Aussaat) zu. Auf den angesäten Plots erreicht die Mischung TV2 diesen Wert in 3 Jahren. Auch hier erklärt sich die deutliche Variation der Werte 6 Monate nach der Aussaat (von 1 bis 21 Arten, d. h. Faktor 21 bei der Mischung RR) aus dem breiten Spektrum an Beobachtungssituationen: von den «praktisch sterilen» und begangenen Plots am Standort Muttenez (n = 1) bis zur vielfältigen Situation in Le Landeron, das von der umfangreichen lokalen Saatgutbank profitierte.

In den Kontrollplots nimmt der durchschnittliche Wert von 6 Arten (6 Monate nach der Aussaat) auf 15 Arten (4,5 Jahre nach der Aussaat) zu. 6 Monate nach der Aussaat variieren die Werte in geringerem Ausmass von 0 in Muttenez und Lullier bis 10 Arten in Bavois).

Die «nicht funktionierenden» Standorte wurden nicht mehr beobachtet, was wahrscheinlich indirekt den Wert der Artenvielfalt nach 36 Monaten erhöht.

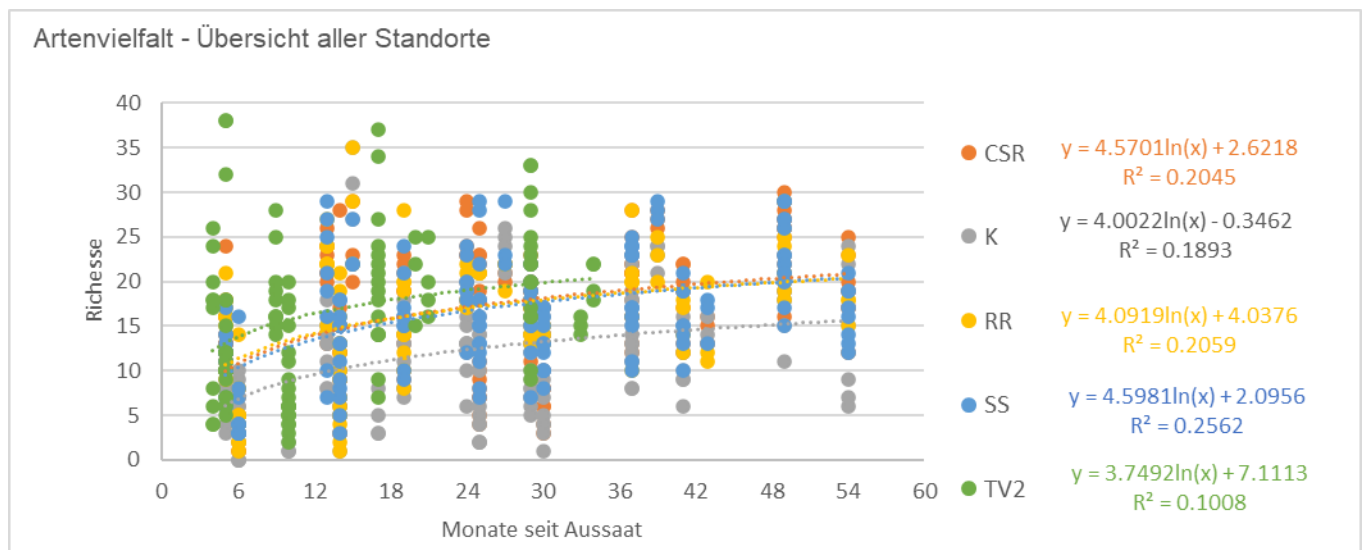


Abbildung 36: Entwicklung der Bruttowerte der Artenvielfalt nach Mischungstyp für alle untersuchten Plots

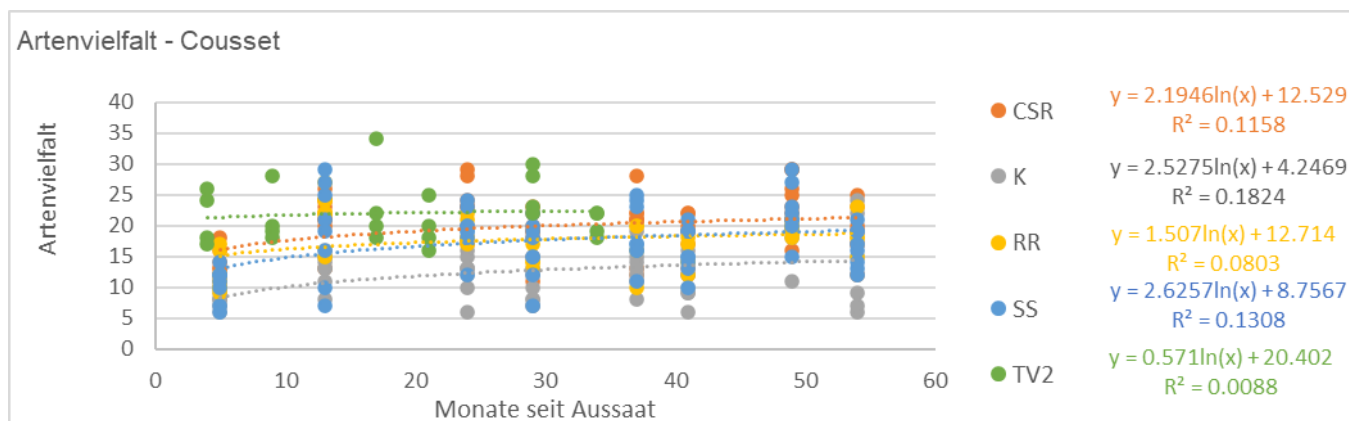


Abbildung 37: Entwicklung der Artenvielfalt nach Mischungstyp für den Standort Cousset

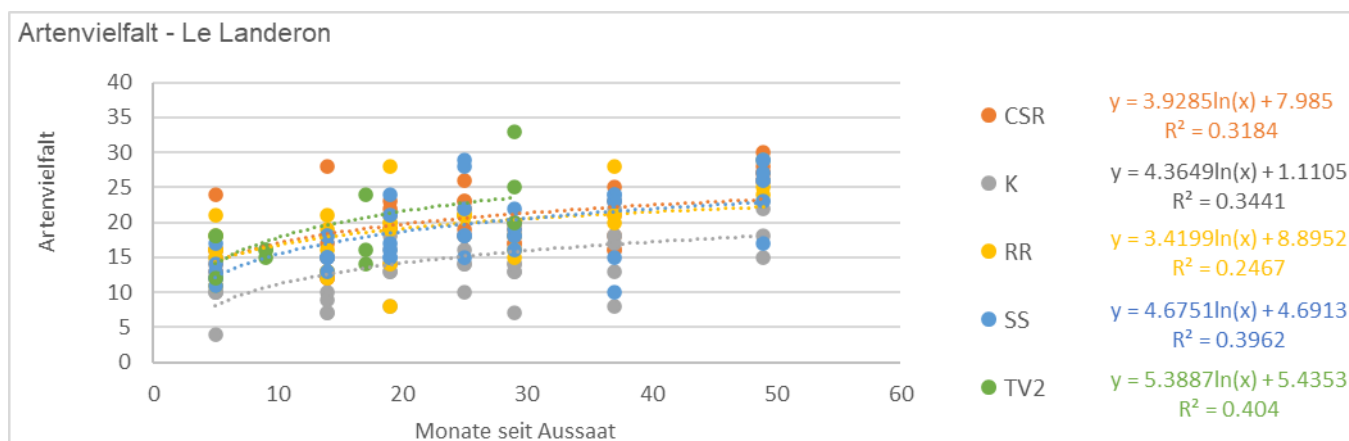


Abbildung 38: Entwicklung der Artenvielfalt nach Mischungstyp für den Standort Le Landeron

4.2.2.3 Einfluss der Fruchtbarkeit und besonders des Gehalts an organischer Substanz im Substrat auf die Deckung

Der Gehalt an organischer Substanz im Substrat spielt anscheinend – trotz der niedrigen R^2 -Werte (Determinationskoeffizient der Datenvariabilität) – für diese Ansiedlungsmodalitäten die Hauptrolle (Abb. 39). Die Werte sind im ersten Jahr systematisch höher und nehmen in den Folgejahren progressiv ab.

Der Erklärungsfaktor variiert jedoch je nach der Mischung der angesäten Arten. Ein höherer Gehalt an organischer Substanz begünstigt die Ansiedlung der Mischungen CRS ($R^2 = 0,46$ Jahr 1; $R^2 = 0,43$ Jahr 2) (Abb. 40). Dagegen scheint bei der Ansiedlung der Mischung RR kein Zusammenhang zwischen Deckung und Gehalt an organischer Substanz im Substrat zu bestehen (Abb. 41). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Plots der Mischung CRS variable Werte von 10 bis 20 g C_{org} / kg aufweisen, die 7 Plots der Mischung RR jedoch mehrheitlich Werte von 18 bis 20 g C_{org} / kg Boden (vgl. Kap. 2.2).

Global enthalten die Standorte, an denen aus der Aussaat kein starkes Vegetationswachstum hervorging (Muttentz, Cornaux und Bavois), Substrate mit niedrigerem Gehalt an organischer Substanz von unter 18 g C_{org} / kg Boden (vgl. Kap. 2.2). An den Standorten Cousset und Le Landeron dagegen liegen die Werte mehrheitlich über 18 g C_{org} / kg Boden.

Die an den zu Projektbeginn an den Stichprobenwerten durchgeführte Varianzanalyse (ANOVA) (vgl. Kap. 2.2, Abb. 5 und Anhang 1 A-G) zeigte standortabhängig signifikante Unterschiede im C_{org} -Gehalt, wobei jedoch die Variabilität der Gehalte gleichmässig auf alle Mischungen verteilt und keine benachteiligt war. Die zu Projektende durchgeführte Analyse, bei der Vegetationsdecke und C_{org} -Gehalt der einzelnen Parzellen verglichen wurden, scheint bereits in der Klimakammer festgestellte Schwellenwerte zu bestätigen. Die Definition dieser Schwellenwerte würde jedoch vertiefte und gezielte Forschungen voraussetzen.

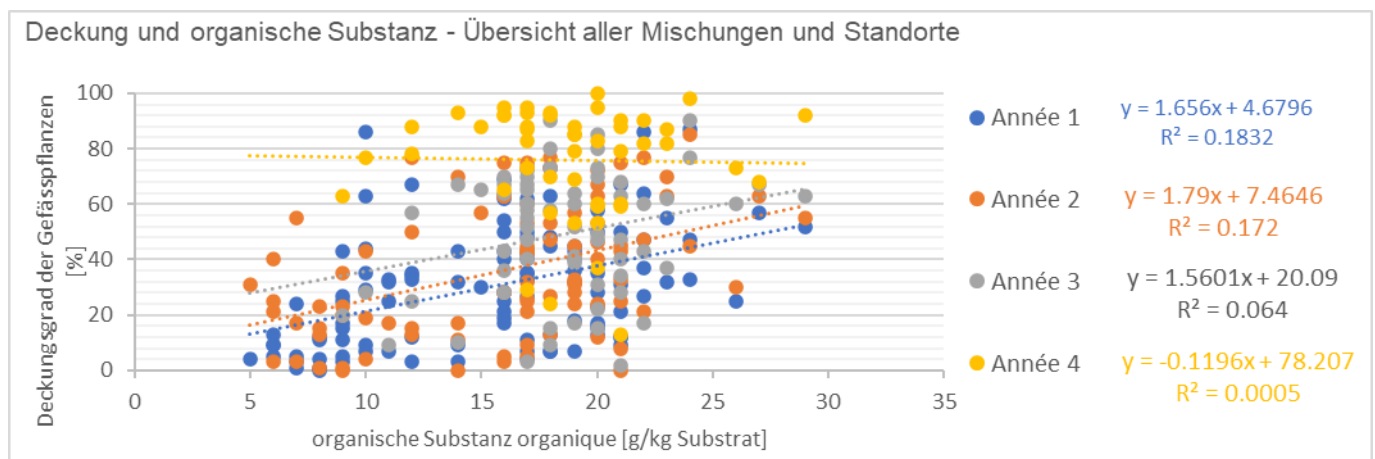


Abbildung 39: Deckung durch Gefäßpflanzen in Abhängigkeit der organischen Substanz für alle Mischungen und Standorte

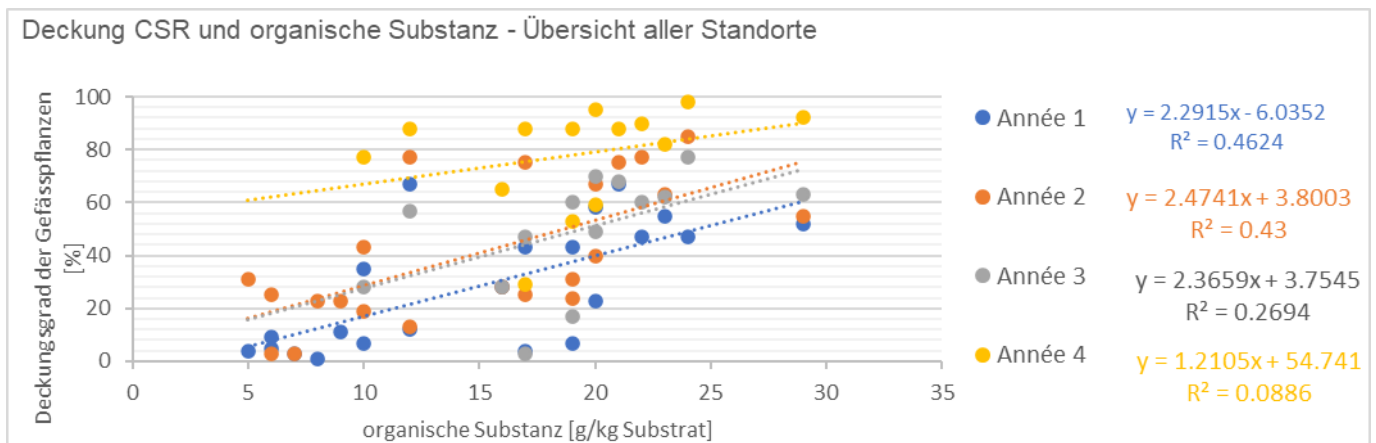


Abbildung 40: Deckung durch Gefäßpflanzen in Abhängigkeit der organischen Substanz für die polyvalente Mischung «CSR» an allen Standorten

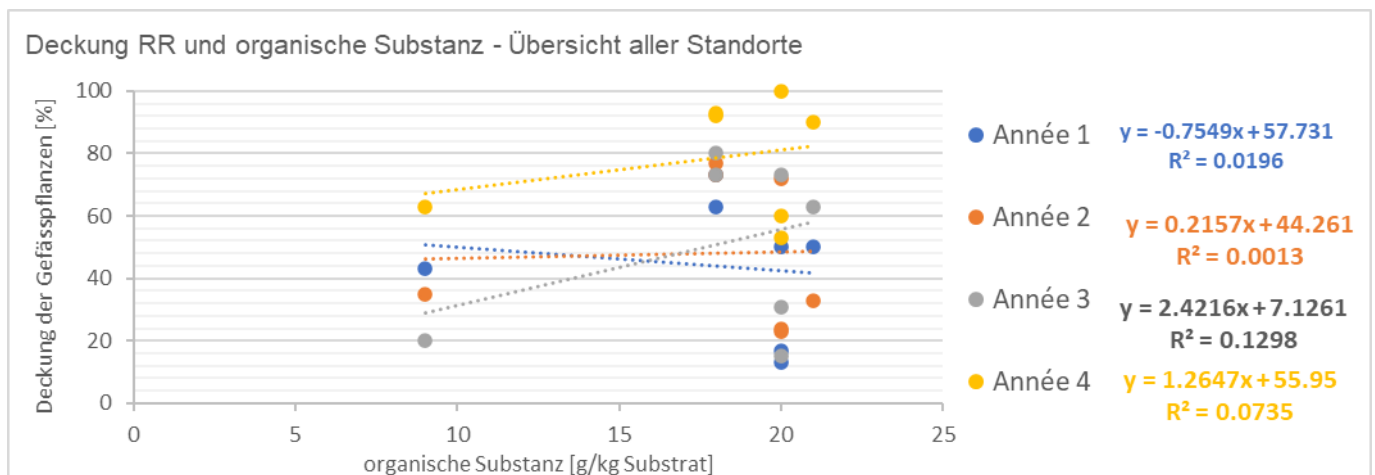


Abbildung 41: Deckung durch Gefäßpflanzen in Abhängigkeit der organischen Substanz für die ruderal Mischung «RR» an allen Standorten

4.2.2.4 Erkenntnisse aus der Analyse der Deckung und der Zusammensetzung der Flora nach Mischungstyp

- Hohe Deckungswerte bei der ruderalen Mischung (RR) und der ubiquitären Mischung (TV2), welche im Zeitverlauf zunehmen.

Die Analyse der Deckungswerte nach Mischungsart zeigt stark variable Daten und eine mit der Zeit leicht zunehmende Tendenz (rund 10 % pro Jahr an den günstigen Standorten). Von allen betrachteten Werten sind die anfängliche Deckung und die Zunahme bei den Mischungen TV2 und RR am höchsten, bei den Mischungen SS und CSR durchschnittlich und bei der Mischung CC und der Kontrolle am geringsten.

Neben dieser Hauptfeststellung ist zu erwähnen:

- Der Beitrag der gesäten Arten zur Deckung ist insgesamt an allen Standorten im gleichen Zeitraum – an den für das Pflanzenwachstum günstigen Standorten insbesondere in den ersten beiden Jahren – signifikant höher als jener der spontanen Arten. Der Beitrag nimmt wie bei den Mischungen RR und TV2 regelmässig zu, auch wenn es bei der gleichen Mischung grosse Unterschiede je nach Standort gibt. Es handelt sich um

ein- oder zweijährige Arten wie das Quendelblättrige Sandkraut und die Wilde Möhre oder auch um mehrjährige Arten wie die Aufrechte Trespe oder den Weissen Mauerpfeffer.

- Der Beitrag der spontanen Arten nimmt im Zeitverlauf ebenfalls tendenziell zu, wenngleich auch hier bei derselben Mischung grosse Unterschiede je nach Standort festzustellen sind. Die meisten Arten sind einjährig wie z. B. der Purpur-Storchschnabel, die an allen Standorten am häufigsten vorkommende einjährige spontane Art.

- Grössere Vielfalt an Flora auf den eingesäten Flächen mit optimalen Werten bei der ubiquitären Mischung (TV2)

In Bezug auf die Artenvielfalt zeigt die Analyse der Werte nach Mischungstyp saisonunabhängig ebenfalls stark variable Daten und im Zeitverlauf tendenziell steigende Werte. Die anfängliche Anzahl Arten und die Zunahme ist bei der Mischung TV2 am höchsten, bei den Mischungen RR, SS und CSR durchschnittlich und ähnlich und bei der Kontrolle signifikant geringer. Die Gesamttendenz entspricht den Beobachtungen an den Standorten Cousset und Le Landeron.

- Die Deckung führt zu weniger, vor allem im ersten Versuchsjahr sichtbaren Problemarten.

Problematische Arten (z. B. Gift-Lattich, Gemeine Nachtkerze, Pastinak...) tragen unabhängig von der Mischung nur wenig zur Deckung bei. Der Beitrag liegt im ersten Versuchsjahr unter 12 % und stabilisiert sich ab dem zweiten Jahr bei allen Mischungen auf einem sehr niedrigen Niveau (durchschnittlicher R < 2 %). Auf für das Pflanzenwachstum ungünstigen Substraten liegt der Anteil dieser Arten höher. Die Phase der Etablierung des Pflanzenteppichs spielt für die Entwicklung dieser Arten an bestimmten Standorten eine entscheidende Rolle (vgl. Punkt unten). Auch wenn bei keiner der beiden Modalitäten eine deutliche Entwicklung festzustellen war, sollte das erste Jahr nach der Aussaat verstärkt überwacht werden.

- Organische Substanz und ein älteres Substrat begünstigen die Entwicklung des Pflanzenteppichs

Der Gehalt an organischer Substanz im Substrat scheint der wichtigste Erklärungsfaktor für diese Ansiedlungsmodalitäten zu sein. Allerdings variiert der Einfluss je nach Mischungsart von ausgeprägt bei der vielseitigen Mischung (CSR) bis zu null bei der ruderalen Mischung (RR). Ein älteres Substrat, in dem sich mit der Zeit organische Stoffe (z. B. aus früher entstandenen Pflanzen und Moosen, Laubresten von Bäumen in der Nähe) und Samen angesammelt haben, stellt einen günstigen Faktor für die Ansiedlung des Pflanzenteppichs dar. «Neue» Substrate mit wenig organischer Substanz wie in Muttentz und Lullier ermöglichen nur eine sehr geringe Pflanzenansiedlung von weniger als 30 %, während sich auf remobilisiertem Substrat mit mehr organischem Material eine durchschnittliche Deckung von bis zu 70 % in Le Landeron und 80 % in Cousset ausbildet.

4.3 Fazit zur Ansiedlung

Aufgrund der Vielfalt der Standorte und der Standortbedingungen erwies sich die Analyse und Interpretation der durchgeführten Tests mitunter als schwierig. Gleichzeitig bot diese Vielfalt an Situationen eine Chance, um Faktoren zu identifizieren, die die Ansiedlung von Flora und Vegetation begünstigen, einschränken oder sogar verhindern. Im Übrigen kam es trotz klarer Absprachen mit den Unterhaltsverantwortlichen an verschiedenen Standorten zu teilweise erheblichen Störungen des Versuchsbetriebs. Dies musste bei der Analyse und Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Die differenzierten Versuche zeigen also einen aufschlussreichen Gradienten von Situationen zwischen Erfolg und Misserfolg, in denen quantitativ kaum oder gar nicht erfassbare Einflüsse zum Tragen kommen. Diese Erkenntnisse werden im Folgenden anhand der eingangs gestellten Fragen 1–9 dargestellt. Die Frage 10 zur Sicherheit der Bahnanlagen wird im Kapitel 7 beantwortet. Danach werden die Auswirkungen auf die Auswahl der Mischungen erörtert.

- **Vegetationsdecke**

Hat die Saatgutmischung einen Einfluss auf die Vegetationsdecke? (Einleitung, Frage 1)

Ja. Der Beitrag der gesäten Arten zur Gesamtdeckung ist an allen Standorten im gleichen Zeitraum – an den für das Pflanzenwachstum günstigen Standorten insbesondere in den ersten beiden Jahren – signifikant höher als jener der spontanen Arten (Gehalt an C_{org} > 15 g/kg, vgl. Punkt unten).

Wirken einige der angesäten Mischungen im Projektzeitraum stärker deckend als andere? (Einleitung, Frage 2)

Ja. Von allen betrachteten Werten sind bei Standorten mit wachstumsfreundlichem Substrat die anfängliche Deckung und die Zunahme bei den Mischungen TV2 und RR am höchsten, bei den Mischungen SS und CSR durchschnittlich und bei der Mischung CC und der nicht angesäten Kontrollfläche am geringsten, auch wenn bei der gleichen Mischung grosse Unterschiede je nach Standort festzustellen sind.

Wie schnell etabliert sich der Pflanzenteppich auf den verschiedenen besäten und nicht besäten Plots innerhalb desselben Zeitraums? (Einleitung, Frage 3)

Die Analyse zur Entwicklung der durchschnittlichen Deckung nach Mischungsart zeigt stark variable Daten und eine leicht zunehmende Tendenz im Zeitverlauf (rund 10 % pro Jahr an den günstigen Standorten). Standorte mit besonders wenig organischem Material (Gehalt an $C_{org} \leq 15$ g/kg, s. Punkt 4 unten) weisen in den ersten 2 Beobachtungsjahren eine geringe Vegetationsdecke auf ($R < 20$ %).

➤ Diversität der Flora

Hat die Saatgutmischung einen Einfluss auf die Pflanzenartenvielfalt? (Einleitung, Frage 4)

Ja. In Bezug auf die Artenvielfalt trägt die Aussaat signifikant zur Erhöhung des Artenreichtums innerhalb einer Gesellschaft bei: Durchschnittlich beträgt die Abweichung zwischen einem nicht angesäten und einem angesäten Plot 5 Arten (ausser für die ubiquitäre Mischung «TV2»).

Die Analyse der Werte nach Mischungstyp zeigt saisonunabhängig stark variable Daten und im Zeitverlauf tendenziell steigende Werte. Die anfängliche Anzahl Arten und die Zunahme ist bei der Mischung TV2 am höchsten (in 3 Jahren im Durchschnitt Zunahme von 13 auf 20 Arten pro Plot), bei den Mischungen RR, SS und CSR durchschnittlich und ähnlich (in 4,5 Jahren im Durchschnitt Zunahme von 10 auf 20 Arten pro Plot) und bei der Kontrollfläche (K) signifikant geringer (in 4,5 Jahren im Durchschnitt Zunahme von 6 auf 15 Arten pro Plot). Mit der Zeit nimmt die Vielfalt der Gesellschaften um 3 bis 5 Arten innerhalb von 4,5 Jahren zu. Eine Ausnahme bildet die ubiquitäre Mischung «TV2», deren grosse anfängliche Artenvielfalt anscheinend alle ökologischen Nischen bereits «sättigt».

Diese Differenz in der Zusammensetzung wird im Rahmen dieses Versuchs mit der Zeit durch den Randeffekt abgeschwächt (die Nähe von angesäten Plots führt zum Vorkommen von sonst regional fehlenden Taxa wie *Festuca laevigata* auf den Kontrollflächen). Damit schliesst also die Aussaat besonders bei spezialisierten xerotoleranten Trockenrasenarten eine Lücke in der Ausbreitung.

Welche angesäten und spontanen – problematischen oder unproblematischen – Arten entwickeln sich mehrheitlich? Siedeln sich bestimmte Arten je nach Mischungsart stärker an? (Einleitung, Frage 5)

Im Frühling werden überwiegend einjährige Arten beobachtet. Ihr Anteil am Pflanzenteppich gestaltet sich hierarchisch wie folgt: Mischung SS (sB = 50,4 %), CSR (sB = 59,4 %), RR (sB = 61,8 %), K (sB = 63,5 %) und TV2 (sB = 71,9 %). Unabhängig von den Mischungen kommen bestimmte Arten wie *Arenaria serpyllifolia* und *Cerastium semidecandrum* (herbst- und winterkeimende Arten) in allen Situationen (Aussaat oder nicht, Typ der Mischung) regelmässig und reichlich vor. Unter den spontanen Arten sind *Geranium robertianum* subsp. *purpureum* und *Saxifraga tridactylites* am regelmässigsten vertreten.

Die Gesamtheit der mehrjährigen Arten (mehr perennierende) ist für jede Mischung spezifischer. Die stresstolerante Mischung «SS» und die polyvalente Mischung «CSR» unterscheiden sich durch die Ausbildung von xerotoleranten, halbtrockenen bis sehr trockenen Rasenarten mit geringer oder begrenzter Ausbreitungsfähigkeit wie *Dianthus carthusianorum*, *Festuca laevigata*, *Koeleria pyramidata*, *Thymus pulegioides* und *Sedum* spp. Die ubiquitäre Mischung «TV2», die ruderale Mischung «RR» und die nicht angesäten Kontrollplots weisen eine weniger spezialisierte mehrjährige Flora auf (*Achillea millefolium*, *Lotus corniculatus*, *Hypochaeris radicata*, *Anthyllis carpatica* und *Sanguisorba minor*).

➤ Problemarten

Welche Auswirkungen haben die Saatgutmischungen auf die Entwicklung von Problemarten? (Einleitung, Frage 6)

Der Anteil der problematischen Pflanzen an der Deckung ist gering und signifikant niedriger als jener der angesäten und der anderen spontanen Arten. Problematische Pflanzen machen im ersten Versuchsjahr weniger als 12 % der

Deckung aus und stabilisieren sich ab dem zweiten Jahr auf einem sehr niedrigen Stand ($R < 2 \%$). Dieser Anteil ist aber in den Kontrollplots an Standorten mit begrenztem Vegetationswachstum grösser. Dies bedeutet, dass problematische Arten sich stärker auf den nicht angesäten Bereichen von Standorten ausprägen, die für das Pflanzenwachstum ungünstig sind. Die Konkurrenzwirkung der angesäten Arten begrenzt also ihre Ansiedlung auf den Substraten mit den geringsten Mengen an organischer Substanz (Gehalt $C_{org} \leq 15 \text{ g/kg}$).

Welche Problemarten können sich gegebenenfalls entwickeln? (Einleitung, Frage 7)

Die fünf am häufigsten erfassten problematischen Arten sind *Lactuca serriola*, *Oenothera biennis*, *Pastinaca sativa*, *Rubus fruticosus* aggr. und *Hedera helix*. Es handelt sich um meso- bis xerophile, überwiegend anthropophile Pionierarten mit sehr hoher Ausbreitungsfähigkeit, entweder über lange Distanzen durch den Wind (*Lactuca serriola*, *Epilobium*...) oder samenfressende Vögel (*Oenothera*, *Pastinaca*) oder im Nahbereich durch vegetative Vermehrung (Ablegerbildung) (*Rubus*, *Potentilla*).

Welche Unterhaltungsmethoden sind gegebenenfalls anzuwenden? (Einleitung, Frage 8)

Durch den Wind oder Vögel verbreitete Gattungen (*Lactuca*, *Oenothera*, *Pastinaca*, *Epilobium*, *Cirsium*, *Verbascum*) etablieren sich im Zwischengleisbereich und auf den Banketten. Sie sind dort unerwünscht, weil ihre grossen Stängel (bei *Epilobium* mehrere) beim Trocknen am Ende des biologischen Zyklus hart werden und ihre Steifheit noch zunimmt. Interventionen bei diesen Arten, die auf frisch angelegtem «neuem» Substrat optimal keimen, müssen sofort nach der Ansiedlung erfolgen.

Die Gattungen mit stark vegetativer Vermehrung (*Rubus*, *Potentilla*, *Hedera*, *Clematis*, *Calystegia*) siedeln sich ausgehend von Quellpopulationen, die sich in der Nähe der Bankette an Böschungen mit mächtigerem und kühlerem Boden befinden, auf den Banketten an. Zur Behandlung dieser Populationen gehört das regelmässige Mulchen der Randbereiche. Nur die Gattung *Equisetum* siedelt sich direkt auf den Banketten an.

➤ **Massgebliche Faktoren**

Wie wirken sich Umweltfaktoren auf die Deckung aus? (Einleitung, Frage 9)

Die Wasserversorgung und die Lufttemperaturen waren an allen Standorten in allen Versuchsjahren ähnlich. Unterschiede bei der Ansiedlung lassen sich also nicht daraus erklären. Der Einfluss des Wassermangels zu Beginn der Vegetationsperiode kam 2020 nur in Lullier zum Ausdruck; an den anderen Standorten kann der Einfluss der Trockenheit auf die Pflanzenentwicklung leider nicht evaluiert werden. Die zweite Trockenperiode von März bis Juni 2022 kombiniert mit starker Hitze führt zur einer Abnahme oder langsameren Entwicklung der Deckung im betreffenden Versuchsjahr. Langfristig scheint die Wasserversorgung jedoch an allen Standorten ausreichend, sobald die Aussaat eine eigene Samenbank im Substrat aufgebaut hat.

Der Gehalt an organischer Substanz im Substrat ist anscheinend der wichtigste Erklärungsfaktor bzw. Voraussetzung für die Ansiedlung des Saatguts. Allerdings variiert der Einfluss je nach Mischungsart und je nach Anforderungen der Arten. Ein älteres Substrat, in dem sich mit der Zeit organische Stoffe (z. B. aus früher entstandenen Pflanzen und Moosen, Laubresten von Bäumen in der Nähe) und Samen angesammelt haben, stellt einen günstigen Faktor für die Ansiedlung des Pflanzenteppichs dar.

«Neue» Substrate mit wenig organischer Substanz wie in Muttenz und Lullier (Standorte mit einem Gehalt von unter $15 \text{ g } C_{org} / \text{kg}$ Boden) ermöglichen nur eine sehr geringe Pflanzenansiedlung von weniger als 30% , während sich auf remobilisiertem Substrat mit mehr organischem Material (Standorte mit einem Gehalt von über $18 \text{ g } C_{org} / \text{kg}$ Boden) eine durchschnittliche Deckung von bis zu 70% in Le Landeron und 80% in Cousset ausbildet. Dieser Standorteffekt zeigte sich in der Klimakammer bei den Versuchen mit der konkurrenzfähigen Mischung (CC), die auf die Zugabe einer geringen Düngermenge zu Versuchsende stark reagierte.

Schliesslich spielt auch die Saison eine Rolle (Aussaat im Frühjahr oder im Herbst, bei höheren oder niedrigeren Temperaturen). In der Klimakammer keimten einige Arten nur bei hohen, nur bei niedrigen oder bei beiden Temperaturstufen. Die Mischungen weisen also direkt abhängig von der Bodentemperatur qualitative und teilweise auch quantitative Abweichungen bei der Ansiedlung auf. Damit können sie den Begrünungsbedarf zu unterschiedlichen Jahreszeiten decken.

➤ Auswirkungen auf die Auswahl der Mischungen

Die im Dezember 2020 angesäte Mischung TV2 konnte sich bereits im ersten Versuchsjahr deutlich rascher etablieren als die im Frühling 2019 angesäten Mischungen CSR, RR und SS. Der Zeitpunkt der Winteraussaat hatte sicherlich einen positiven Einfluss auf das Auflaufen gerade von im Spätsommer bis Herbst keimenden Arten, die sommerliche Trockenphasen tolerieren/vermeiden (Mehrheit in diesen Mischungen). Die Winteraussaat ist zudem artenreicher.

Die Mischung TV2 erfüllt die Erwartungen an die Begrünung am besten; an zweiter Stelle steht die Mischung RR. Der Erfolg der beiden Mischungen hängt mit der Vielfalt an einjährigen Arten und an mehrjährigen polyvalenten Arten zusammen. Die Mischungen CSR und SS entwickeln eine für Trockenrasen spezifische floristische Komponente. Die Bedeutung der einjährigen Arten untermauert die Hypothese, dass die Zeitperiode der Aussaat für die Ansiedlung eine wesentliche Rolle spielt.

Daneben ist zu berücksichtigen, dass bei den Mischungen SS, CSR und TV2 mit einem höheren Anteil an mehrjährigen Arten die Vegetationsdecke über das ganze Jahr beständiger ist. Angesichts der opportunistischen Strategie besteht die Mischung RR mehrheitlich aus ein- oder zweijährigen Arten, bei denen der Sommerzyklus – besonders von Spätf Frühling bis Frühsommer – teilweise in Form von Samen erfolgt; bei diesen Arten handelt es sich mehrheitlich um herbstkeimende einjährige Arten.

Konkret weisen die getesteten Saatgutmischungen in den *In-* und *Ex-situ*-Versuchen eine hohe Keimrate (> 80 %) und eine gewisse Plastizität und Anwendungsbreite auf: Je höher die Anzahl potenziell an die Beschaffenheit des Substrats angepasste Arten, desto vielseitiger die spezifischen Ansiedlungen (bei der Mischung TV2 z. B. keimen in Versuchen in der Klimakammer 21 verschiedene Arten, bei den anderen Mischungen im Durchschnitt nur 12 Arten). Der Reichtum hängt mit der Vielfalt der vorhandenen ökologischen Strategien zusammen, die wie eine «Versicherung» gegen schwankende Umweltbedingungen und die unsichere Etablierung erscheinen.

➤ Verschiedene Überlegungen und Grenzen

Auf dem einzigen Bankett typischer Breite (0,6-1 Meter) in Bavois konnte keine Begrünung etabliert werden. Auf den Bahnhofsflächen (Zwischengleisbereiche) waren die Resultate sehr heterogen. Es war daher sicherlich vorteilhaft, mehrere Versuchsstandorte zu prüfen, da schlussendlich die Standortbedingungen, allen voran der Gehalt an organischer Substanz im Substrat, über den Erfolg der Ansiedlung entscheiden.

Alle Plots der *In-situ*-Versuchsstandorte ausser Bavois wurden vor der Aussaat gejätet. Sie enthielten also noch eine Samenbank aus der präetablierten Vegetation, was den grossen Anteil spontaner Arten an den Standorten erklärt.

Fünf Jahre nach der Aussaat konnten die getesteten Mischungen an den Standorten Cousset und Landeron die präetablierte Vegetation effizient konkurrieren bzw. dominieren und sogar die Kontrollflächen besiedeln. In Cornaux variieren diese beiden Indikatoren stärker.

Der Standort Lullier weist trotz der niedrigen Deckungsgrade einen hohen Anteil gesäter Krautarten auf. Dagegen gibt es kaum spontane Arten und Moose.

5 Projekterweiterungen

5.1 Sedum-Matten

Vor dem Hintergrund erfolgreicher Anwendungen von mit Sedum-Pflanzen bestückten Vegetationsmatten zur Begrünung von Dächern und Strassenbahntrassen, sollte eruiert werden, ob eine pflegearme Variante auch zur Begrünung von Zwischengleisbereichen und Banketten auf Bahnhofsgeländen eingesetzt werden könnte. Hierfür wurde ein Tastversuch an drei Standorten angelegt. Die Sedum-Matten wurden auf unterschiedlichen Substraten und mit unterschiedlicher Begehungsfrequenz getestet. Dieser Projektteil ist aufgrund seines Umfangs separat publiziert worden [27]; im Folgenden sind nur die wichtigsten Ergebnisse in Kürze ausgewiesen.

- Die Widerstandsfähigkeit der Sedum-Arten war unter den gegebenen Bedingungen sehr gering. So ging die Deckung der Sedum-Arten von anfänglich 100% nach drei Jahren auf durchschnittlich 30% zurück. Gleichzeitig wurden die Matten von Spontanvegetation besiedelt (Abb. 42). Die Besiedlung erfolgte auf verschiedenen Wegen: i) Überwuchs durch rankende Pflanzen aus der angrenzenden Böschung, ii) Eintrag von Samen aus der Umgebung und iii) Durchwachsen der Matten aus dem darunterliegenden Substrat.
- Sedum-Arten sind sehr trittempfindlich. Schon bei mittlerer Trittbelastung waren einige Sedum-Matten wenige Monate nach Installation vollständig zerstört.
- Unter den eingesetzten Sedum-Arten war der Weisse Mauerpfeffer (*Sedum album*) die dominanteste Art, während die anderen einheimischen Arten Ende Versuch 2023 alle eine Deckung von weniger als 1% aufwiesen. Das Kaukasus-Fettkraut (*Sedum spurium*), ein invasiver Neophyt, war die einzige Art, die auf einzelnen Matten an Deckung zulegen konnte.

Mit Sedum bewachsene Vegetationsmatten sind in der gewählten Ausbringungsform – ohne weitere technische Eingriffe bei der Verlegung und ohne Pflegeaufwand – nicht für den Einsatz im Gleisbereich, im Schotter und im Bankett der SBB geeignet.

5.2 Sollen Bryophyten nach den Erhebungen in Cousset und Le Landeron Teil der Aussaat bilden?

Die an organischer Substanz armen Skelettböden entlang der SBB-Gleise bilden ein günstiges Habitat für Bryophyten. Die sehr trockenheitsresistenten Laub-Moose, die keine richtigen Wurzeln bilden, sind ideal an diese Lebensräume angepasst.

Zur Identifizierung der Bryophyten-Gesellschaften in den Gleisrandbereichen, besonders im Zwischengleisbereich und auf den Banketten, wurden Erhebungen parallel zu denjenigen der Gefässpflanzen durchgeführt. Da sich die Gesellschaften relativ langsam entwickeln, wurden die Erhebungen nur im ersten Versuchsjahr nach der Aussaat durchgeführt. An jedem Versuchsstandort wurden sie vollständig nach Mischungsart und für jede Wiederholung erhoben, auch auf den nicht angesäten Kontrollflächen. Die Arten wurden in Umschlägen gesammelt und anschliessend unter Zuhilfenahme von optischen Instrumenten und verschiedenen europäischen Floren identifiziert. In Le Landeron wurden die Bryophyten 2019 auf jedem Plot qualitativ erhoben. In Cousset wurden die Bryophyten 2020 erhoben und mit dem Abundanz-Dominanz-Koeffizienten nach Braun-Blanquet bewertet.

Diese Inventare ergaben die folgenden Resultate:

- Insgesamt wurden in Cousset 10 Arten erhoben (Abb. 43). Die Kontrollflächen beherbergen insgesamt drei Arten, die stresstolerante Mischung SS vier, die ruderale Mischung RR fünf und die polyvalente Mischung CSR das Maximum von sieben Arten.
- Am Standort Le Landeron werden insgesamt 14 Arten erhoben. Auch hier weist der Kontrollplot mit insgesamt drei erhobenen Arten die kleinste Vielfalt auf. Bei der Mischung SS wird derselbe Wert gemessen. Die Mischungen CSR und RR zählen insgesamt 11 Arten.

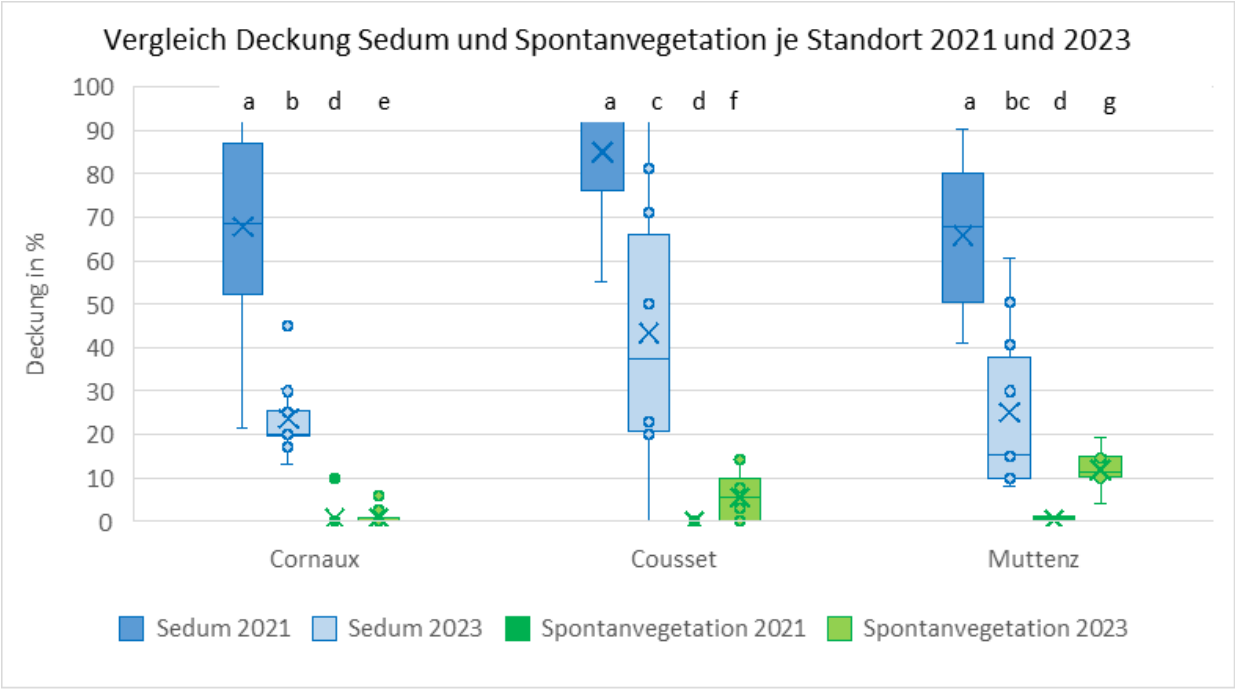


Abbildung 42: Vergleich der Deckungen von Sedum-Arten und Spontanvegetation in den Jahren 2021 und 2023 abhängig vom Standort.
Deckung Sedum-Arten blaue Box; Deckung spontane Vegetation grüne Box

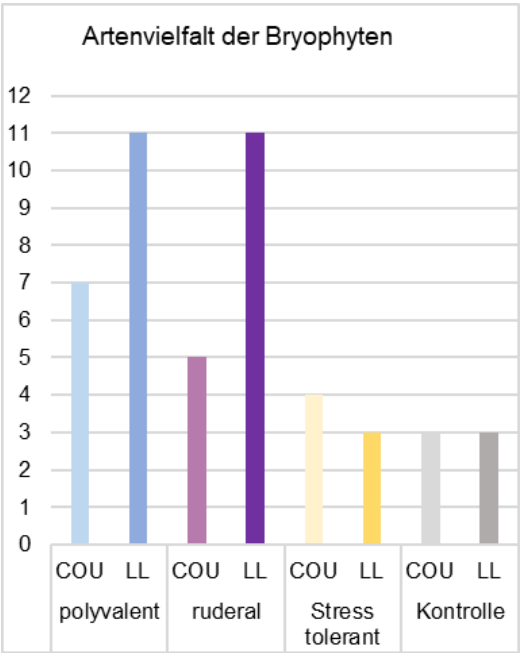


Abbildung 43: Spezifische Vielfalt an Bryophyten nach Mischung in Le Landeron (LL) und Cousset (COU)

5.3 Synergie-Versuch in Seebach

➤ Vorgehen

Im Laufe des Projektes kam die Vermutung auf, dass sich Moose wegen ihres ausgeglichenen Wasserhaushaltes eventuell positiv auf den Keimerfolg der Saat auswirken könnte. Um dies zu untersuchen, hat Agroscope einen vereinfachten in-situ Keimversuch durchgeführt. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass Moose die Keimung und Etablierung der Mischungsarten begünstigen und so eine höhere Deckung von Spontanvegetation resultiert.

Am Bahnhof Zürich Seebach wurde im November 2021 eine stark von Moos bedeckte Untersuchungsfläche von 30 m² ausgeschieden und mit Bodenplatten an den Ecken markiert. Es wurden zwei Verfahren unterschieden: ohne Moose und mit Moosen. Hierfür wurden 6 Plots à 5 m² (2 m x 2,5 m) unterteilt und abwechselnd jeder zweite Plot mit einer Pendelhacke und Rechen so gut wie möglich vom Moos befreit (Abb. 44, Anhang 1 H). Anschliessend wurde auf allen Plots von der Mischung TV2 die gleiche Saatmenge (g/m²) wie auf den übrigen Standorten eingesät.

Für die Datenerhebung wurde vor und nach der Säuberung vom Moos von jedem Plot mit dem Smartphone ein Übersichtsbild und eine Detailaufnahme im Zentrum des Plots gemacht. Diese wurden während der Vegetationsperiode von März bis November einmal monatlich bis im Herbst 2023 wiederholt.

Für die Deckungsschätzungen der Moose und Spontanvegetation wurde ein Rahmen von 40 x 40 cm in der Plot-Mitte ausgerichtet und fotografiert. Am Bildschirm wurde ein Raster von 10 x 10 cm so in die Detailaufnahme gelegt, dass die Deckung der Moose, die Deckung der Kräuter und die Deckung der Gräser pro 5 m² geschätzt werden konnte (Abb. 45 unten rechts).

➤ Beobachtungen

Der Erfolg der Einsaat war an diesem Standort schlecht. Einzig im zweiten Frühjahr 2023 kamen einige Pflanzen zur Keimung, die wohl aus der Saadmischung stammten. Diese starben aber mehrheitlich in der ersten Trockenperiode 2023 ab. So blieb die Gesamtdeckung der Spontanvegetation unter 1 %. Unter den Kräutern war das Gewöhnliche Frühlings-Hungerblümchen (*Erophila verna*) die häufigste Art. Diese wurde auch im verdorrten Zustand gezählt. Die Deckung der Moose nahm in beiden Verfahren über die Zeit gegenüber der Ersterhebung vor der Entfernung der Moose um 2,5 % bzw. 3,9 % zu, was aber keine signifikante Veränderung war. Im gleichen Zeitraum nahm die Deckung der Spontanvegetation in beiden Verfahren im ersten Frühjahr 2022 leicht und im zweiten Frühjahr 2023 signifikant zu, was sich aber Ende 2023 nicht bestätigen liess. Im Verfahren ohne Moos nahm die Deckung der Spontanvegetation insgesamt trotz dem Zwischenhoch im Frühjahr 2023 signifikant ab, während die Spontanvegetation in den Kontrollen mit Moos nicht signifikant abnahm (Abb. 45). Die unterschiedliche Entwicklung der Deckung der Spontanvegetation in den beiden Verfahren wird damit erklärt, dass das Hungerblümchen als Therophyt eine einjährige, kurzlebige Pflanze ist, die auf jährliche Versamung angewiesen ist. Mit der Entfernung der Moose wurden wahrscheinlich auch deren Samen teilweise entfernt.

➤ Besprechung und Schlussfolgerung

Es gibt viele Studien, die Zusammenhänge zwischen Keimung/Etablierung von Gefässpflanzen und Moosen experimentell behandeln. Man hat sowohl positive als auch negative Effekte der Moosschicht auf die Etablierung von Gefässpflanzen gefunden, je nach Gefässpflanzenarten, Dicke der Moosschicht, oder teilweise auch Effekte der Moosarten selbst, die mit den Umweltbedingungen (trocken/feucht) im Mikrohabitat der Moose zusammenhängen. Beispielsweise bleibt es unter Moosen länger feucht, wogegen bei anhaltender Trockenheit die Moose zunächst alle Niederschläge aufnehmen, bis sie gesättigt sind. In dicken Moospolstern kann die Keimung bzw. Etablierung gehindert werden, wenn das Moospolster austrocknet, bevor die Keimwurzel den Boden erreicht hat. Andererseits kann eine dicke Moosschicht auch vor extremen Verhältnissen etwas schützen. Es ist schwierig, hier zu generalisieren, es kommt auf sehr viele Faktoren an und die Effekte können in einem feuchten Jahr anders sein als in einem trockenen Jahr.

Der Tastversuch konnte die Hypothese, dass die Moose die Keimung und Etablierung der gesäten Mischung begünstigt, nicht bestätigen, was durch die oben erwähnten Studien bestätigt wird.



Abbildung 44: Fotodokumentation der Entwicklung von Keimung auf einer Untersuchungsfläche von 5 m² (2 m x 2,5 m):
Links Übersicht und Detailaufnahme vor Entfernung der Moose; Mitte Übersicht und Detailaufnahme im Frühjahr nach Entfernung der Moose; Rechts Übersicht und Detailaufnahme mit 10 cm-Raster zum Projektende

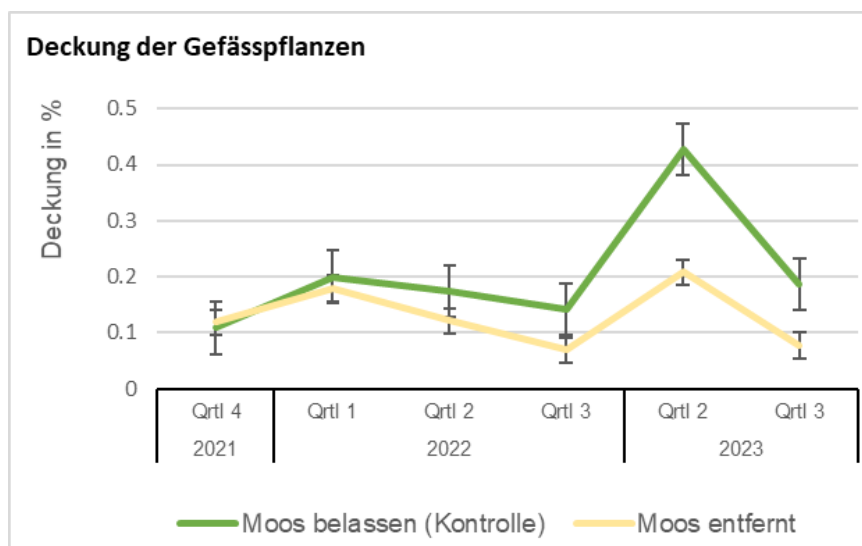


Abbildung 45: Deckung der Gefässpflanzen im Synergie-Versuch in den zwei Verfahren Moos entfernt (gelbe Linie) und Moos belassen (= Kontrolle, grüne Linie) von Dez. 2021 bis Sep. 2023

6 Problemarten: Verdrängungspotential der Mischungen

6.1 Problematische Arten

Der Vegetation dient die lineare Struktur der Bahngleise als idealer Verbreitungsweg, die flächigen Bahnhöfe als Ansiedlungs- und Ausbreitungs-Zentren. Durch diese Eigenschaft besteht die Gefahr der Ausbreitung unerwünschter Arten, insbesondere windverbreiteter, invasiver Neophyten [55-61], die zunehmend - nicht nur in Bahnanlagen - zum Problem werden können. In der Schweiz kommen rund 730 gebietsfremde Gefäßpflanzen wildlebend vor [52]. Der Grossteil der gebietsfremden Arten gliedert sich jedoch unauffällig in unsere Ökosysteme ein. Diese Arten sollten dennoch weder

verbreitet noch gefördert werden. Nach aktuellem Stand gelten 56 Arten, die nachweislich Schäden auf Ökologie, Gesundheit oder Infrastruktur verursachen, als invasiv; weitere 32 Arten gelten als potenziell invasiv, da von Schäden auszugehen ist. Während des Untersuchungszeitraumes wurden an den Standorten drei invasive Arten (Abb. 46) angetroffen. Bei unsachgemässer Bekämpfung werden invasive Arten gefördert. Um sie einzudämmen, ist eine jeweils angepasste Bekämpfungsstrategie nötig [62].

Rubus armeniacus: Die Armenische Brombeere ist eine konkurrenzstarke Art, die grosse, dichte, monospezifische Bestände bildet [63]. Dadurch beschattet sie den Boden und behindert so das Wachstum einheimischer Arten, insbesondere von Pionierarten. Im Gleisrandbereich bilden die Ranken, auch der einheimischen Brombeerarten, erhebliche Stolperfallen.

Senecio inaequidens: Das Schmalblättrige Greiskraut ist eine sehr robuste Pionierart, die für das Vieh giftig und deshalb sehr problematisch für die Landwirtschaft ist [64]. Da das schmalblättrige Greiskraut teilweise Resistenzen gegen Herbizide aufweist, führt es zu erhöhten Unterhaltskosten insbesondere beim Gleisschotter.

Erigeron annuus: Das Einjährige Berufkraut ist in den letzten Jahren in starker Ausbreitung und stellt ein Risiko für zahlreiche einheimische und geschützte Pflanzenarten dar [65]: Es bildet schnell dichte Bestände und dominiert, als Eindringling in der Landwirtschaft, extensive Wiesen und Weiden.

Auch einige einheimische Arten sind im Gleisrandbereich unerwünscht, wenn sie zu Schäden führen können. Hierbei handelt es sich um Pflanzen, die eine ungeeignete Lebensform aufweisen: rankende Arten (z.B. *Hedera helix*, *Clematis vitalba*, *Rubus caesius*), verholzende Arten wie Büsche (z.B. *Prunus spinosa*) und Bäume (*Populus nigra* und *P. tremula*; Pionierbäume) sowie solche, die eher tief wurzeln (z.B. *Taraxacum officinale*, *Pastinaca sativa*). Diese Arten müssen wegen der Stolpergefahr und einer möglichen Gleisdestabilisierung kontrolliert werden.



Senecio inaequidens

Erigeron annuus

Rubus armeniacus

Abbildung 46: Auf den Standorten vorkommende invasive Neophyten - siehe Liste «Gebietsfremde Arten in der Schweiz».

(© *Senecio inaequidens*, *Rubus armeniacus*: Wikipedia; *Erigeron annuus*: Info Flora)

6.2 Situation an den In-situ-Standorten

Im aktuellen Versuch lässt sich die Konkurrenzfähigkeit der Mischungen gegenüber den Problempflanzen schwer evaluieren, weil Letztere an allen Standorten kaum vorkommen. Ein reichliches Vorkommen von Problempflanzen scheint eher mit den Standorten als mit der angesäten Mischungsart oder der Zeit seit der Aussaat zu korrelieren. In Bavois sind 2020 die höchsten Werte auf den angesäten Flächen zu beobachten bzw. auf der Kontrollfläche noch höhere. Die anderen Standorte weisen einen zwar ähnlichen, aber doch geringeren Anteil Problempflanzen auf.

In MuttENZ ist 2020 trotz der allgemein sehr schwachen Pflanzendeckung ein hoher Anteil an Problempflanzen festzustellen. Letztere verschwanden 2021 zugunsten der spontanen Arten und der Moose.

Genau dies ist auch in Bavois zu beobachten: Die 2020 häufigen Problempflanzen sind im Folgejahr verschwunden, während die Deckung aus spontanen Arten und Moosen zunimmt. In Bavois wird 2020 eine hohe Rate an Problempflanzen festgestellt, hauptsächlich Schachtelhalme (*Equisetum arvense* und Hybriden von *E. hyemale*). Entlang der Bahngleise sind diese Arten wegen ihrer den Boden störenden rhizomatischen Stängel, mit denen sie rasch dichte Populationen bilden können, und wegen ihrer Grösse sowie hohen und steifen Struktur unerwünscht. Schachtelhalm gilt als Indikatorpflanze für Kolmation und Staunässe und stellt im Gleisschotter ein grosses Problem dar. Im Rahmen des Projekts blieb der Schachtelhalm jedoch generell nicht lange auf den beobachteten Flächen, sondern verschwand durch die natürliche Konkurrenz mit anderen Arten.

6.3 Fazit zum Verdrängungspotential

Für die Besiedlung durch Problemarten (wie durch alle spontanen Arten) sind folgende Faktoren entscheidend: 1. bei Arten mit ausgeprägter vegetativer Vermehrung, die direkt mit den betreffenden Standorten in Kontakt stehende Umwelt; 2. bei anemophilen Arten (Windbestäubung), der geringe Substratnährstoffgehalt auf nicht angesäten Flächen.

Im ersten Fall bildet eine kürzlich gestörte Böschung entlang von Bahngleisen, auf der sich Brombeeren etabliert haben, einen idealen Herd für problematische Arten: Mit ihren ausserhalb des Schotter in wachstumsfreundlicheren Böden verankerten Wurzeln können sie sich im Zwischengleisbereich und auf den Banketten rasch ausbreiten. Daher ist es wichtig, auf die Beschaffenheit und den Unterhalt der Böschungen und anderer Strukturelemente entlang der Gleise zu achten. Gestörte, besonders anfällige Böden sollten mit adäquaten Mischungen begrünt werden. Allgemeiner könnten identifizierte Herde von unerwünschten Arten kartografiert und gezielt behandelt werden.

Beim zweiten Fall in MuttENZ und Bavois wurde die Entwicklung der problematischen Arten durch die Aussaat begrenzt und im Folgejahr von den angesäten, den spontanen Arten und den Moosen verdrängt. Diese Feststellung spricht für die Aussaat auf den ärmsten Substraten, um die Entwicklung der auf den Kontrollparzellen regelmässig leicht häufiger vorkommenden unerwünschten Arten zu begrenzen (vgl. 4.2.1, Analyse nach Standort).

Da die Aussaat eine Konkurrenzwirkung erzeugt, erschwert sie die Etablierung und Ausbreitung invasiver und problematischer Neophyten bzw. ein Entwicklungsmaximum im ersten Jahr, ohne sie jedoch ganz zu verhindern. Die Kosten der Bekämpfung dieser Arten sind gegenüber der heutigen Praxis unverändert.

7 Betriebssicherheit

Das Vorhaben, Gleisrandbereiche gezielt zu begrünen, steht im Spannungsfeld zwischen einer gewünschten Reduktion chemischer Herbizide, der Förderung einheimischer Arten, einer Verschönerung des Landschaftsbildes sowie verbesserter ökologischer Funktionen einerseits, und der Anforderung betriebliche Störungen zu vermeiden, die Personensicherheit und die Langlebigkeit der Anlagen zu gewährleisten andererseits. In diesem Kapitel wird die Frage 10 aus der Einleitung beantwortet.

7.1 Sicherheitsrelevante Fragen

➤ **Eigenschaften der angesäten Arten**

In der Machbarkeitsstudie wurden bestimmte Sicherheitsaspekte als Bedingung für eine Begrünung gelistet. Einigen Punkten - keine Verunkrautung landwirtschaftlicher Nutzflächen und keine Einschränkung der Betriebssicherheit wie Sichtbarkeit der Signale, erhaltene Zugänglichkeit und Begehrbarkeit der Anlagen und keine Stolperfallen - wurde schon mit der Auswahl geeigneter Pflanzenarten Rechnung getragen.

Im Verlauf des Versuches haben sich die in den Mischungen enthaltenen Arten wie erwartet verhalten und keinerlei Sicherheitsrisiko dargestellt. Es konnte kein Eindringen dieser Arten in das Schotterbett beobachtet werden. Somit waren die Anforderungen an die Sicherheit erfüllt.

➤ **Funktion der Gleise inklusive Entwässerung der Schotterbereiche werden nicht beeinträchtigt**

Die gezielte Untersuchung einer weiteren formulierten Bedingung, keine Beeinträchtigung der Wasserdurchlässigkeit, respektive Entwässerung durch Biomasse / Feinmaterial, konnte aus Kapazitätsgründen nicht experimentell durchgeführt werden. Da sich keine Pflanzen im Schotterbereich etablierten, kann davon ausgegangen werden, dass dort keine Beeinträchtigung der Wasserdurchlässigkeit stattfand. Auf den durchlässigen Substraten im Bankett und Nebengleisbereich ist dies auch kaum zu befürchten. In den kurzen Beobachtungszeit von 5 Jahren wurden keinerlei Zeichen von Staunässe beobachtet.

➤ **Pflegebedarf bei Eindringen von Problempflanzen**

Einige problematische Pflanzen werden sich immer installieren oder aus der Böschung einwachsen können. Im vorliegenden Versuch geschah dies auch vereinzelt. Selten kam es punktuell zu höherem und dichtem Bewuchs. An den Standorten mit verunkrauteten Böschungen wuchsen vereinzelt rankende Pflanzen auf die Unterhaltswege ein (Anhang 1 D). Bei problematischen Arten mit stark vegetativer Vermehrung (Lianen, Brombeeren...) sind mechanische Behandlungen der Rhizome und Stolone an den Ausbreitungsherden in den Böschungen durchzuführen. Der gezielte Unterhalt von angrenzenden Flächen beugt der Verunkrautung von Bahnarealen vor. Dieses Phänomen ist unabhängig vom Aktionsplan «NoHerbie – Alternativen Herbizid» durch die SBB zu lösen.

➤ **Fazit zu den Sicherheitsaspekten**

Werden die Sicherheitsaspekte bei erfolgreicher Ansiedlung der Arten-Mischungen erfüllt? (Einleitung, Frage 10)

Ja, bei erfolgreicher Ansiedlung erfüllen die Pflanzenarten die Kriterien der Betriebssicherheit (gute Begehrbarkeit, geringe Wuchshöhe und Wurzeltiefe, keine Stolperfallen, keine Einschränkung der Sichtbarkeit von Signalen, Gewährleistung einer uneingeschränkten Entwässerung der Gleise). Ferner reduziert der hohe Anteil erwünschter Arten die Gefahr einer Verunkrautung benachbarter landwirtschaftlicher Acker- und Graslandflächen.

Eine gezielte Begrünung kann unter Einhaltung der Sicherheitsaspekte nachhaltig funktionieren, wenn sie durch Pflegemaßnahmen ergänzt wird. Es empfiehlt sich ein gezieltes manuelles oder automatisiertes Vorgehen. Wichtig erscheint, dass die Versamung problematischer Pflanzen unterbunden, die der gewünschten Ansaat jedoch gefördert wird. Die gezielte Pflege von angrenzenden Böschungen etc. kann den Druck auf die begrünten Flächen reduzieren. Wo eine Sicht auf Signale, vorab Zwergsignale, gewährleistet bleiben muss, sollte die Begrünung gesteuert werden.

8 Biodiversität und Landschaftsbild

8.1 Förderung der Biodiversität

Die «Strategie Biodiversität Schweiz» [66] hat sich zum Ziel gesetzt, die Biodiversität im Siedlungsraum zu fördern und fasst die Umsetzung im «Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz» zusammen [67]. Städtische Gebiete mit naturnahen Grünflächen können eine überraschend hohe Biodiversität aufweisen [68, 69].

Bahnanlagen bieten Habitate und Refugien für wertvolle Arten [70-74]. Sie leisten somit einen Beitrag an die Artenvielfalt und die Förderung der Biodiversität. Diese Eigenschaft kann durch eine gezielte Begrünung von Gleisrandbereichen und Zwischengleisbereichen zusätzlich gefördert werden.

In der Machbarkeitsstudie [25] wurden zwei Themen für die Bewertung einer Begrünung zur Förderung der Biodiversität genannt: A) Optimierung des Wertes für die Entomofauna (Bestäuber) und B) Nicht anziehend für grössere Säugetiere (Hase, Reh etc.) um zu vermeiden, dass sie von den Zügen getötet werden. Eine gezielte Untersuchung der Wirkung auf die Fauna war aufgrund der Versuchsanlage und aus Kostengründen nicht vorgesehen. Dasselbe gilt für die Untersuchung der Wirkung auf (stadt-)ökologisch relevante Aspekte wie eine Verbesserung der Regenwasserrückhaltung, der Schadstoffbindung, sowie der Schall- und Erschütterungsemissionen. Diese, sich auch ökonomisch lohnend auswirkenden Aspekte, sind aus Studien zur Dachbegrünung und zur Anwendung Grüner Gleise im Nahverkehr hinreichend bekannt [75, 76].

In letzterem Kontext wurde vorliegend die Bodentemperatur untersucht. Die weiter oben geschilderten Beobachtungen weisen eindeutig auf eine reduzierte Substrat-Temperatur durch beschattende Vegetation hin (Abb. 6). Die Begrünung verhindert somit die Bildung von stark aufgeheizten Wärmeinseln [77], was sich positiv auf das lokale Klima auswirkt.

Bankette entlang der Gleise können auch als schmale Vernetzungs- und Verbreitungskorridore dienen. Es ist bekannt, dass sich insbesondere Neophyten [78] entlang dieser Korridore ausbreiten. Leider konnte vorliegend keine erfolgreiche Begrünung auf solch einem 50-60 cm breiten Bankett installiert werden. Daher ist davon auszugehen, dass eine räumlich übergreifende Korridorwirkung für förderwürdige einheimische Flora und Fauna entfällt.

Der Attraktivitätseffekt wurde in dieser Untersuchung nicht getestet [79, 80]. Andere Studien (an Standorten im Kanton Waadt in der Nähe von Bavois) zeigten jedoch, dass ein hohes Vorkommen von Dikotylen in den angesäten Mischungen sich auf die Ansiedlung und auf die Vielfalt an Wirbellosen und besonders Wildbienen auswirkt. Somit darf bei erfolgreicher Etablierung der Ansaaten von einer Begünstigung der Entomofauna (Bestäuber) ausgegangen werden [81]: Es wurden regelmässig, (Wild)Bienen, Hummeln, Heuschrecken, Raupen, Schmetterlinge sowie Spinnen, Schnecken und Eidechsen beobachtet (Abb. 47).



Abbildung 47: Bildung von farbigen Blüten; Lebensraum für Insekten und Schnecken

8.2 Wirkung auf das Landschaftsbild

Das Landschaftsbild [82] ist das visuell wahrnehmbare Erscheinungsbild einer Landschaft, welches auch subjektiv-ästhetische Wertmassstäbe des Betrachters enthält. Es hat eine emotionale und identitätsstiftende Wirkung [83] und ist deshalb von sehr grosser Bedeutung für das allgemeine Wohlbefinden und die Lebensqualität des Menschen.

Aufgrund dieser umfassenden Bedeutung der Landschaft hat der Schweizer Gesetzgeber die Förderung landschaftlicher Qualitäten geregelt [84].

Eine ökologisch intakte, vielfältige Landschaft wird von einem Grossteil der Bevölkerung als schön empfunden und ist das Kapital der Naherholung [86]. Die bewusste Gestaltung des Landschaftsbildes steigert die Attraktivität einer Landschaft durch ästhetisch wirksame Elemente des ökologischen Ausgleichs wie Buntbrachen, Dach- oder Fassadenbegrünung, Restflächen mit Naturbewuchs, Krautsäume im Randbereich und eine standortgerechte Bepflanzung [87]. Einige Schweizer Kantone arbeiten an der konkreten Förderung der Landschaftsqualität [88].

Im Gegensatz zu den kargen, vegetationslosen Zwischengleisbereichen, wie sie bislang von Bahnbetrieben angestrebt wurden, bietet eine gezielte Begrünung mit geeigneten einheimischen Arten (ex *Anthyllis carpatica*, *Dianthus carthusianorum*) ein farbenfrohes, dem menschlichen Auge wohlgefälliges Bild, welches sich dem Jahresverlauf anpasst und für diversifizierte Wahrnehmung sorgt (Abb. 48). In Cousset bildet sich allmählich ein vor allem aus *Hippocrepis comosa* bestehender Pflanzenteppich. Diese Pflanzengesellschaft etablierte sich in drei Jahren und erreichte nach fünf, respektive sieben Jahren beeindruckende Ausmasse (Abb. 49 und 50).



10.03.2021



21.04.2021



10.06.2021



02.08.2021



31.08.2021



28.09.2021

Abbildung 48: Entwicklung der Vegetation im Jahresverlauf 2021 auf Plot 23 in Cousset, xerophyle Mischung «SS»



Abbildung 49: Cousset. Progressive Teppichbildung auf Plot 19 (SS-5) durch *Hippocrepis comosa*.



Abbildung 50: Cousset. Ausdehnung des durch *Hippocrepis comosa* gebildeten blühenden Teppichs auf Plot 19 (SS-5) am 1. Mai 2025.

9 Schlussfolgerungen

Die angesäten Arten tragen im gleichen Zeitraum an allen Standorten signifikant mehr zur Gesamtdeckung bei als die spontanen Arten. Von allen betrachteten Werten an Standorten mit wachstumsfreundlichem Substrat sind die anfängliche Deckung und deren Zunahme bei den Mischungen TV2 und RR grösser und regelmässiger. Die Entwicklung der Deckung nach Mischungsart zeigt stark variable Daten und eine mit der Zeit leicht zunehmende Tendenz (rund 10 % pro Jahr an günstigen Standorten). Die Standorte mit dem ärmsten Substrat (Gehalt $C_{org} \leq 15$ g/kg) weisen nur eine dünne Vegetationsdecke auf.

Im Hinblick auf die Artenvielfalt trägt die Aussaat signifikant zum Artenreichtum innerhalb einer Gesellschaft bei. Die Differenz in der Zusammensetzung wird bei diesem Versuch mit der Zeit durch den Randeffect abgeschwächt. Damit schliesst also die Aussaat besonders bei spezialisierten xerotoleranten Trockenrasenarten eine Ausbreitungslücke. Im Frühjahr wurden überwiegend einjährige Arten beobachtet. Die mehrjährigen Arten (mehr perennierende) sind für jede Mischung spezifisch. Die stresstolerante Mischung «SS» und die polyvalente Mischung «CSR» unterscheiden sich durch die Ausbildung von xerotoleranten, halbtrockenen bis sehr trockenen Rasenarten mit geringer oder begrenzter Ausbreitungsfähigkeit. Die ubiquitäre Mischung «TV2», die ruderale Mischung «RR» und die nicht angesäten Kontrollplots weisen eine weniger spezialisierte mehrjährige Flora auf.

Der Anteil der problematischen Pflanzen an der Vegetationsdecke ist gering und signifikant niedriger als jener der angesäten und der anderen spontanen Arten. Bei den 5 häufigsten Problemarten handelt sich um meso- bis xerophile, überwiegend anthropophile Pionierarten mit ausgeprägter Ausbreitungsfähigkeit entweder über lange Distanzen durch den Wind oder samenfressende Vögel, oder im Nahbereich durch vegetative Vermehrung (Ablegerbildung). Insbesondere rankende Arten wie Efeu und Brombeerarten, welche aus den angrenzenden Böschungen einwachsen, können Stolperfallen werden und Signale überwachsen. Drei Arten sind wegen ihrer Wuchshöhe unerwünscht (Wilder Lattich, Gewöhnliche zweijährige Nachtkerze, Pastinak) und zwei weitere Arten wegen ihrer Invasivität (Schmalblättriges Greiskraut und das Einjährige Berufkraut).

Die durch den Wind oder durch Vögel verbreiteten Gattungen etablieren sich auf den Banketten in Gleisnähe. Interventionen bei diesen Arten, die auf frisch angelegtem «neuem» Substrat optimal keimen, müssen sofort nach der Ansiedlung erfolgen. Gattungen mit stark vegetativer Vermehrung siedeln sich ausgehend von Quellpopulationen, die sich in der Nähe der Bankette an Böschungen mit mächtigerem und kälterem Boden befinden, auf den Banketten an. Zur Behandlung dieser Populationen gehört das regelmässige Mulchen der Randbereiche.

Langfristig scheint die Wasserversorgung jedoch an allen Standorten ausreichend, sobald die Aussaat eine eigene Samenbank im Substrat aufgebaut hat. Der Gehalt an organischer Substanz im Substrat ist anscheinend der wichtigste Erklärungsfaktor bzw. Voraussetzung für die Ansiedlung der Ansaaten. Allerdings variiert der Einfluss je nach Mischungsart und Anforderungen der Arten. Ein altes Substrat begünstigt die Etablierung des Pflanzenteppichs.

Mit Sedum bewachsene Vegetationsmatten sind, insbesondere aufgrund ihrer Trittempfindlichkeit, in der gewählten Ausbringungsform – ohne weitere technische Eingriffe bei der Verlegung und ohne Pflegeaufwand – nicht für den Einsatz im Gleisbereich, im Schotter und im Bankett der SBB geeignet.

Bei erfolgreicher Ansiedlung erfüllen die in den Mischungen eingesäten Pflanzenarten die Kriterien für die Betriebssicherheit (gute Begehrbarkeit, geringe Wuchshöhe und Wurzeltiefe, keine Stolperfallen, keine Einschränkung der Sichtbarkeit von Signalen, Gewährleistung einer uneingeschränkten Entwässerung der Gleise). Der hohe Anteil gesäter Arten verringert die Gefahr einer Verbreitung unerwünschter Arten in benachbarte landwirtschaftliche Nutzflächen. Je nach Standort können unterschiedliche Pflegemassnahmen nötig werden.

Der mehrjährige Versuch mit 5 Saatmischungen an 5 Standorten hat gezeigt, dass eine erfolgreiche Begrünung im Neben- und Zwischengleisbereich vom Bahnarealen mit ausgewählten Arten möglich ist. Wir konnten zeigen, dass die Artenvielfalt zunimmt, dass eine gut etablierte Pflanzendecke die Etablierung von Neophyten reduziert und die Bodentemperaturen senkt, was sich auch auf die Umgebungstemperatur auswirken kann.

10 Ausblick – Umsetzung

Mit den revidierten Unterhaltsrichtlinien wird gegenüber früher mehr Vegetation im Gleisrandbereich toleriert. Diese muss aber weiterhin die Sicherheit und Verfügbarkeit gewährleisten und darf die Nutzungsdauer der Bahnanlage nicht reduzieren. Dieses Ziel kann mit der ubiquitären Mischung TV2 erreicht werden. Sie passt sich flexibel an unterschiedlichste Standortbedingungen an und kann deshalb vielerorts eingesetzt werden. Je nach Bedarf, respektive Zielsetzung oder Einsatzort, kann die Anzahl der enthaltenen Arten angepasst werden. Mit dieser Mischung kann eine praktische Umsetzung ins Auge gefasst werden.

Ältere, schon mit organischer Substanz angereicherte Substrate, ob Mergel oder andere, werden auf jeden Fall von Vegetation besiedelt, respektive sind es schon, weshalb der Aufwand für die Vegetationskontrolle steigt. Hier wäre eine Begrünung im Zwischengleisbereich durchaus angebracht. Damit kann gezielt gesteuert werden, welche erwünschten Pflanzenarten sich etablieren sollen. Die Artenvielfalt nimmt zu, die Bodentemperatur nimmt ab und die Qualität des Landschaftsbildes wird bereichert. Die für den vorliegenden Versuch erarbeitete Mischung hat ihr Potential unter Beweis gestellt.

Bei Neubau oder Renovation ergeben sich drei Möglichkeiten:

- Ist das Ziel auf jungen Mergel-Substraten die Flächen möglichst lange vegetationsfrei zu halten, können dessen vegetationsfeindliche Eigenschaften länger bewahrt werden, indem die Flächen regelmässig aufgeraut und gejätet werden, wie unsere Beobachtungen in Muttens zeigen. Das gejätete Material sollte dabei aber abgeführt werden.
- Soll auf jungen Mergel-Substraten möglichst schnell eine Begrünung erreicht werden, empfiehlt sich die Ansaat durch Hydroseeding (Nassansaat mit Spritzbrühe ergänzt mit organischer Substanz als Startdüngung) wie es von der SNCF angewandt wird, was eine verbesserte Starterhilfe ermöglicht.
- Alternativ und analog zur Praxis bei Strassenbahnen und begrünten Dächern bietet sich die Möglichkeit einer schnellen Ansiedlung durch die Verwendung anderer Substrate wie ungewaschener Wandkies oder recycelte Baustoffe [89, 90].

Bislang wurde die Untersuchung zwecks statistischer Absicherung auf kleinen Plots (15 m²) durchgeführt. Die oben besprochenen Ergebnisse zeigen, dass Arten der jeweiligen Mischungen auch die benachbarten Testflächen besiedeln. Wichtig erscheint daher die Prüfung, wie sich eine Ansaat auf grossen Flächen unter Minderung von solchen Randeffekten verhält. Breite Zwischengleis- und Nebengleisbereiche sind geeignete Flächen für eine Umsetzung. Einige Flächen mit Potential wurden im Projektverlauf erörtert:

- In Dielsdorf ZH, wo ein 300 m langer und 3 m breiter Streifen östlich vom Gleis bereits heute einige Spontanvegetation aufweist, was auf einen geeigneten Anteil organischer Substanz für die Keimung hinweist.
- Im Rahmen des Projektes Léman 2030 auf der Abstellanlage in Lausanne
- In Fribourg anlässlich des Baus neuer Gleise.

Der Pflegebedarf wurde nicht vertieft untersucht. Angesichts der relativ kurzen Projektdauer und gemessen an den langsamen Etablierungsprozessen können nur allgemeine Aussagen gemacht werden. Seitens des Projektteams waren keinerlei Pflegemassnahmen geplant. Dieser Aspekt würde sicherlich eine Vertiefung verdienen.

Auch dem ökologischen Wert der angesäten Flächen konnte im Projektverlauf nicht genügend nachgegangen werden. In der landwirtschaftlichen Praxis werden standardisierte Mischungen für Biodiversitätsförderflächen im Ackerbau und im Weinbau auf offenem Boden ausgebracht und mit Direktzahlungen abgegolten. Die getesteten Mischungen aus einheimischen Arten können gegenüber den vegetationslosen Flächen als ökologische Aufwertung gesehen werden und stehen bezüglich Vielfalt und Bedeutung für die Biodiversität den Mischungen für Biodiversitätsförderflächen in nichts nach. Die gewählten Arten bieten zahlreichen Organismen Nahrung und Lebensraum. Die Frage ist, welche Punktezahl eine solche Fläche als ökologische Ersatzfläche erreichen könnte, z.B. gemäss «Bewertungsmethode für Eingriffe in schutzwürdige Lebensräume» [91]. Kriterien für die Bewertung sind: Entwicklungszeit, Seltenheit des Lebensraumtyps und Bedeutung für die Biodiversität.

Alle oben angesprochenen Themen laufen auf den Aspekt des Kostenpunktes hinaus. Eine Kostenanalyse war im Rahmen des Projektes nicht vorgesehen und muss schliesslich der SBB überlassen werden. Für den Ersatz der Herbizide gilt abzuschätzen, wie sich die verschiedenen Methoden langfristig (über Jahrzehnte) gegeneinander aufrechnen:

- Keine alternativen Massnahmen: Installations- und Pflegeaufwand bleiben unverändert.
- Verzicht auf Herbizide: Installationskosten bleiben, Pflegeaufwand wird wahrscheinlich höher.
- Begrünung: Niedrige Installationskosten mit höheren Pflegekosten.
- Bauliche Massnahmen: Hohe Installationskosten mit geringen Pflegekosten.

Dies lässt sich am besten anhand eines konkreten Beispiels berechnen. Dafür bräuchte es einen Modell-Standort, um definieren zu können, welche Vorarbeiten nötig wären und wieviel Fläche angesät werden müsste. Mit diesen Angaben könnte man zwecks Kostenvoranschlags an die Saatgut-Produzenten und Techniker herantreten.

11 Literaturverzeichnis

1. SNCF infra (2009): **Les traitements chimiques de la végétation des voies ferrées par la SNCF**. Vortrag Phyt'Eaux Propres Île de France 17 juin 2009; URL: http://www.cadeb.org/wp-content/uploads/2012/06/pratiques_sncf.pdf; last visit 26.01.2024.
2. BLW (Hrsg.) (2024): **Verkaufsmengen der Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe**. Bundesamt für Landwirtschaft; URL: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/verkaufsmengen-der-pflanzenschutzmittel-wirkstoffe.html>; last visit 26.01.2024.
3. LfL Bayern (Hrsg.) (2018): **Einsatzumfang von Glyphosat**. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft; URL: <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/192703/index.php>; last visit 26.01.2024.
4. Gunter Adolph (2017): **Vegetationskontrolle SBB - Auffrischkurs FABA PSM**. Vortrag, Olten; 8.11.2017.
5. Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (AefU) (2018): **BAFU-Grenzwerte ohne Wert für gefährlichste Pestizide?** URL: <http://www.aefu.ch/themen/chemikalien/pestizide/>; last visit 26.01.2024 (16.01.2019).
6. Konsumentenschutz Schweiz (2018): **Kein Persilschein für Glyphosat**. URL: <https://www.konsumentenschutz.ch/tag/glyphosat/>; last visit 26.01.2024.
7. BauernZeitung online (2018): **Glyphosat: Umstrittene Mutter aller Herbizide**. URL: <https://www.bauernzeitung.ch/news-archiv/2018/glyphosat-umstrittene-mutter-aller-herbizide>; last visit 26.01.2024.
8. Maximilian von Klenze (2023): **EU-Kommission verlängert Glyphosat-Zulassung um zehn Jahre**. URL: <https://www.nzz.ch/wirtschaft/eu-kommission-verlaengert-glyphosat-zulassung-um-zehn-jahre-ld.1766142>; last visit 26.01.2024.
9. Pietras-Couffignal K., Klein E., Van Driessche S. and Pelletier A. (2021): **Future vegetation control of European Railways-State-of-the-art report (TRISTRAM Final Report)**. UIC-ETF. International Union of Railways (UIC). Edition Techniques Ferroviaires. Paris.
10. Robert Sattelberger (2001): **Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Biozid-Produkten im nicht-land- und forstwirtschaftlichen Bereich**. MONOGRAPHIEN Band 146; Umweltbundesamt GmbH, Wien (Vienna), Austria.
11. Rask A.M. and Kristoffersen P. (2007): **A review of non-chemical weed control on hard surfaces**. Weed Research 45:5, p. 370-380.
12. Lennart Torstensson (2001): **Use of herbicides on railway tracks in Sweden**. Pesticide outlook 12:1, p. 16-21.
13. Roger G. Nyberg (2016): **Automating condition monitoring of vegetation on railway trackbeds and embankments**. Thesis at Edinburgh Napier University.
14. British Columbia Railway Company (2007): **Integrated Vegetation Management Plan 2008-2013**. URL: <https://bcrco.com/IVMPLAN2007.pdf>; last visit 26.01.2024.
15. British Columbia Railway Company (2012): **Integrated Vegetation Management Plan 2013-2017**. URL: https://www.bcrco.com/veg_mgmt_plan.pdf; last visit 26.01.2024.
16. SNCF Réseau (2021): **Charte d'engagements relative à l'utilisation des produits phytomédicaments**. URL: https://www.sncf-reseau.com/medias-publics/2023-11/sncf_reseau_-_egalim_-_charte_d_engagements_vf.pdf; last visit 26.01.2024.
17. Lukas Tanner, Gunter Adolph and Werner Kurfess (2021): **Erfahrungen mit dem Heisswasser-Unkraut-Spritzzug im praktischen Einsatz: Die SBB entwickelt und testet Alternativen zu Glyphosat**. Kurfess; Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) Nr. 3 2021.
18. Lukas Tanner, Gunter Adolph and Werner Kurfess (2021): **Heißwasser als Alternative zur chemischen Vegetationsbekämpfung bei der SBB - Erfahrungen nach zwei Jahren mit dem Heißwasser-Spritzzug im praktischen Einsatz**. Verkehr und Technik (VuT) Nr. 5 2021.
19. HSLU (Hrsg.) (2024): **Roboter anstelle Herbizid**. Hochschule Luzern; URL: <https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/ueber-uns/organisation/kompetenzzentren-und-forschungsgruppen/technik/mechanische-systeme/mobile-und-industrielle-robotik/roboter-anstelle-herbizid/>; last visit 26.01.2024.
20. Aurélie Gfeller, Frédéric Tschuy, Lukas Tanner, Gunter Adolph and Judith Wirth (2023): **Heisswasser-Applikation, eine effektive Methode zur Vegetationskontrolle im Gleisbereich**. Agrarforschung Schweiz 14: 76–85, 2023.
21. Ignaz J. Buerge, Pavlina Pavlova, Irene Hanke, Astrid Bächli and Thomas Poiger (2020): **Degradation and sorption of the herbicides 2,4-D and quizalofop-P-ethyl and their metabolites in soils from railway tracks**. Environmental Sciences Europe volume 32, Article number: 150.
22. SNCF Réseau (2024): **L'éco-pâturage : économique et respectueux de l'environnement**. URL: <https://www.sncf.com/fr/reseau-expertises/reseau-ferroviaire/sncf-reseau/ecopaturage-on-peut-compter-sur-les-moutons>; last visit 01.11.2024.
23. Marine Lelay, Caroline Dechaume-Moncharmont, Manon Vion and Mélanie Douchet (2019): **L'éco-pâturage pratiqué par SNCF Réseau**. Sciences Eaux & Territoires n°27 – 2019.
24. SNCF Réseau (2023): **« Choisir la végétation plutôt que la subir »**. URL: <https://www.sncf.com/fr/groupe/profil-et-chiffres-cles/qui-sommes-nous/sncf-reseau/ensemencement-choisi-technique-respectueuse-environnement>; last visit 03.11.2024.

25. Markus van der Meer and Serge Buholzer (2019): **Vorprojekt «Begrünung von Geleise-Banketten und Vegetationskontrolle ohne Herbizide» - Bericht zur Machbarkeitsstudie 2018**. Agroscope Science | Nr. 90 / 2019.
26. Markus van der Meer, Patrice Prunier, Julie Steffen, Muriel Ehmig, Pierre-André Frossard and Serge Buholzer (2021): **Grüner Teppich – gezielte Begrünung von Banketten und Randbereichen - 2020 – Zwischenevaluation / Évaluation intermédiaire**. Agroscope Science | Nr. 119 / 2021.
27. Markus van der Meer, Julie Steffen, Patrice Prunier and Serge Buholzer (2024): **Einsatz von Sedum-Matten zur Begrünung von Schottern, Gleisen und Gehwegen in SBB Arealen - Tastversuche (2021–2023)**; . Agroscope Science | Nr. 195 / 2024.
28. Agroscope (2021): **Webseite des Projektes: Grüner Teppich – gezielte Begrünung von Banketten und Randbereichen; UPDATE in March 2024 to "Alternativen zum Einsatz von Glyphosat an Bahnhöfen und im Schienennetz der SBB"**. URL: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/biodiversitaet-landschaft/oekologischer-ausgleich/tapisvert.html>.
29. Grime J. (1974): **Vegetation classification by reference to strategies**. Nature, vol. 250, no 5461, p. 26-31.
30. Wikipedia (2023): **Vegetationsperiode**. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Vegetationsperiode>; last visit 26.01.2024.
31. BEL (Hrsg.) (2020): **Der Boden aus Sicht der Agrarmeteorologie - Bodentemperatur und -wasserhaushalt**. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft; URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/agrarmeteorologie.html>; last visit 26.01.2024.
32. Pierluigi Calanca, Annelie Holzkämper and Francesco A. Isotta (2023): **Die thermische Vegetationszeit im Wandel des Klimas**. Agrarforschung Schweiz 14: 150–158, 2023.
33. MeteoSchweiz (Hrsg) (2023): **Klimareport 2022**. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich. 104 S.
34. MeteoSchweiz (Hrsg) (2024): **Klimabulletin Jahr 2023**. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich.
35. Meteotest AG (2021): **BODENMESSNETZ; Webaufruf der Kantonalen Fachstellen Bodenschutz**. UR: <https://www.bodenmessnetz.ch/messwerte/datenabfrage>; last visit 26.01.2024.
36. Kalkfabrik Netstal (2024): **KFN Netstaler® 0–15 mm geschlammt, der Deckbelag für Naturstrassen, Wanderwege und Landschaftsbau**. URL: <https://www.kfn.ch/kies/kfn-netstaler> (last visited: 01.11.2024).
37. swisstopo (2017): **Rapport au sujet de l'approvisionnement de la Suisse en matières premières minérales non énergétiques (Rapport sur les matières premières minérales)**. URL: <https://shop.swisstopo.admin.ch/fr/livres-et-publications/service-geologique-national/rapports-geologiques/rapports-du-service-geologique-national-pdf>; last visit 03.11.2024.
38. swisstopo (2021): **Besoins et état de l'approvisionnement en granulats issus de roches dures en Suisse**. URL: <https://shop.swisstopo.admin.ch/fr/livres-et-publications/service-geologique-national/rapports-geologiques/rapports-du-service-geologique-national-pdf>; last visit 03.11.2024.
39. Wikipedia (2023): **Hitzewelle**. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hitzewelle>; last visit 26.01.2024.
40. Wikipedia (2021): **Therophyt**. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Therophyt>; last visit 03.11.2024.
41. Wikipedia (2022): **Xerophilie**. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Xerophilie>; last visit 03.11.2024.
42. Wikipedia (2024): **Stratifikation (Botanik)**. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Stratifikation_\(Botanik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Stratifikation_(Botanik)); last visit 02.12.2024.
43. Scheffer/Schachtschabel (1998): **Lehrbuch der Bodenkunde**. 14. Auflage, Ferdinand Enke Verlag 1998.
44. Alexander Stahr (2014): **Bodentemperatur**. URL: <http://www.ahabc.de/bodeneigenschaften/bodentemperatur/#>; last visit 26.01.2024.
45. Andreas Böhner (2014): **Faktoren der Nährstoffverfügbarkeit im Boden des Dauergrünlandes**. Fachtagung für biologische Landwirtschaft 2014, 15 – 22.
46. Gesine Hellberg-Rode (2002): **Wärmehaushalt des Bodens**. Westfälische Wilhelms-Universität Münster; URL: <https://hypersoil.uni-muenster.de/0/05/05.htm>; last visit 26.01.2024.
47. Diedrich Schroeder (1992): **Bodenkunde in Stichworten**. 5. revidierte und erweiterte Auflage von Winfried E. H. Blum. Hirt in Gebrüder Borntraeger, Berlin; Stuttgart, 1992; 175 Seiten.
48. Spektrum.de (2001): **Hitzeresistenz**. Kompaktlexikon der Biologie;; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg; URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/hitzeresistenz/5543> ; last visit 03.11.2024.
49. Wikipedia (2023): **Temperaturresistenz**. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Temperaturresistenz>; last visit 03.11.2024.
50. BAFU (Hrsg.) (2021): **Hochwasser Juli 2021: Intensive Niederschläge führten verbreitet zu Überschwemmungen**. Bundesamt für Umwelt; URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/dossiers/hochwasser-juli-2021-intensive-niederschlaege-fuehrten-verbreitet-zu-ueberschwemmungen.html>; last visit 01.11.2024.
51. Daget P. and Poissonet J. (1971): **Une méthode d'analyse phytologique des prairies : critères d'application**. Annales Agronomiques, 22 (1) : pp. 5-41.
52. BAFU (Hrsg.) (2022): **Gebietsfremde Arten in der Schweiz**. Bundesamt für Umwelt; 1. aktualisierte Auflage 2022. Erstausgabe 2006.; URL: www.bafu.admin.ch/uw-2220-d last visit 01.11.2024.
53. Verloove F. (2011): **Geranium purpureum**. On: Manual of the Alien Plants of Belgium. Botanic Garden Meise, Belgium; URL: <https://alienplantsbelgium.myspecies.info/content/geranium-purpureum>; last visit 03.11.2024.

54. Prunier P., Boissezon A., Duvoisin J. and Steffen J. (2020): **Associations végétales du canton de Genève - Clé d'identification illustrée**. Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, Office cantonale de l'agriculture et de la nature, Genève, 246 p.
55. Ursula Tinner and Hanspeter Schumacher (2004): **Flora auf Bahnhöfen der Nordostschweiz**. Botanica Helvetica 114 Heft 2, p. 109-126.
56. Bogusław Wilkomirski, Halina Galera, Barbara Sudnik-Wójcikowska, Tomasz Staszewski and Malgorzata Malawska (2012): **Railway tracks-habitat conditions, contamination, floristic settlement - a review**. Environment and Natural Resources Research Vol. 2, No. 1.
57. Dan Wołkowycki and Piotr Banaszuk (2016): **Railway routes as corridors for invasive plant species. The case of NE Poland**. In: Materials of The International Academic Conference on The New Silk Road Connectivity: NSRC 2016. 162–169. Chongqing Jiaotong University, Opole Technical University, Chongqing.
58. Caterina Penone, Nathalie Machon, Romain Julliard and Isabelle Le Viol (2012): **Do railway edges provide functional connectivity for plant communities in an urban context?** Biological Conservation 148 (2012) 126–133.
59. Barbara Lattrell (2015): **PA-haltige Pflanzen auf nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen**. Vortrag, URL: <https://bfr.bund.de/cm/343/pa-haltige-pflanzen-auf-nicht-landwirtschaftlich-genutzten-flaechen.pdf> last visit 01.11.2024.
60. Wolfgang Bischoff, Josephine Cueni, Yolande Peisl-Gaillet and Delphine Kolly (2014): **Bekämpfung invasiver Neophyten: beschränkte Mittel zielgerichtet einsetzen (Essay)**. Schweiz Z Forstwes 165 (2014) 6: 132–139.
61. Heinz Mueller-Schaerer and Suzanne Lommen (2014): **Ambrosia in Germany - Can the Invasion Be Halted?** Julius-Kuhn-Archiv 445 p. 148-155.
62. Cercle exotique (2020): **Bekämpfungsempfehlung - Schmalblättriges Greiskraut (Senecio inaequidens)**. Merkblatt. URL: <https://www.kvu.ch/de/arbeitsgruppen?id=138>; last visit 29.01.2024.
63. InfoFlora (2022): **Rubus armeniacus Focke (Rosaceae)**. Factsheet. URL: <https://www.infoflora.ch/de/flora/rubus-armeniaceus.html>; last visit 01.11.2024.
64. InfoFlora (2021): **Senecio inaequidens DC. (Asteraceae)** Factsheet. URL: <https://www.infoflora.ch/de/flora/senecio-inaequidens.html>; last visit 01.11.2024.
65. InfoFlora (2019): **Erigeron annuus (L.) Desf. (Asteraceae)**. Factsheet. URL: <https://www.infoflora.ch/de/flora/erigeron-annuus.html>; last visit 01.11.2024.
66. BAFU (Hrsg.) (2012): **Strategie Biodiversität Schweiz**. Bundesamt für Umwelt; URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/strategie-biodiversitaet-schweiz.html>; last visit 01.11.2024.
67. BAFU (Hrsg.) (2017): **Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz**. Bundesamt für Umwelt; URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/biodiversitaetspolitik/strategie-biodiversitaet-schweiz-und-aktionsplan.html>; last visit: 01.11.2024.
68. BAFU (Hrsg.) (2023): **Lebensräume in der Schweiz**. Bundesamt für Umwelt; URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/zustand-der-biodiversitaet-in-der-schweiz/zustand-der-lebensraeume-in-der-schweiz.html#-1959529279>; last visit 01.11.2024.
69. Ewa Renaud, Patrice Prunier, Marie Fournier, Téo Lemaître, Martin Secretan, Julie Steffen and Pascal Boivin (2023): **Toitures végétalisées à Genève - Questions pratiques et état des connaissances**. Etat de Genève; Programme Nature en ville; URL: <https://www.1001sitesnatureenville.ch/wp-content/uploads/Toitures-vegetalisees-Etat-des-connaissances.pdf>; last visit 03.11.2024.
70. Sargent C. (1984): **Britain's Railway Vegetation; Environmental Conservation 12:2 p. 193-194**. Cambridge University Press.
71. Lenka Jandová, Petr Sklenář and Pavel Kovář (2009): **Changes of Grassland Vegetation in Surroundings of New Railway Flyover (Eastern Bohemia, Czech Republic)**. Part I: Plant Communities and Permanent Habitat Plots; Journal of Landscape Ecology VOLUME 2 (2009): ISSUE 1 (JANUARY 2009). 2(1): p. 35.
72. Åke Niemi (1969): **On the railway vegetation and flora between Esbo and Inga, S. Finland**. Acta botanica fennica 83, May 1969.
73. John Aubert, Antoine Burri and Jean-Yves Le Baron (2004): **La valorisation des talus ferroviaires**. Tracés : bulletin technique de la Suisse romande 130:23.
74. Lachat T., Pauli D., Gonseth Y., Klaus G., Scheidegger C., Vittoz P. and Walter T. (Red) (2010): **Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?** Forum Biodiversität Schweiz, (Hrsg.); Bristol-Stiftung, Zürich. Haupt Verlag, Bern. Bezug: www.haupt.ch.
75. Christel Kappis, Hendrikje Schreiter and Karsten Reichenbacher (2014): **Handbuch Gleisbegrünung - Planung, Ausführung, Pflege**. Grüngleisnetzwerk (Hrsg.), PMC Media House; Trackmedia; 1. Auflage, 164 S.
76. Sophie Rochefort, Patrice Prunier, Pascal Boivin, Reto Camponovo and David Consuegra (2018): **Rapport final du projet "Toitures végétalisées" (TVEG) dans l'agglomération genevoise**. URL: <https://plante-et-cite.ch/rapport-final-du-projet-toitures-vegetalisees-tveg/>; last visit 03.11.2024.
77. Yoshito Tamai, Humika Satou, Rijal Hom Bahadur, Shiro Wakui and Kentaro Iijima (2020): **Environmental Heat Relaxation Effect by Railroad Track Greening with Non-Irrigation System**. Journal of Japanese Society of Turfgrass Science Vol 48 Nr 2 p. 149-155.

78. Anonymus (2010): **Neophyten - Bahnstrecken als Ausbreitungskorridore**. Natur und Land (vormals Blätter für Naturkunde und Naturschutz) 96. JG. - Heft 2-2010.
79. Heiniger C., Rochefort S. and Prunier P. (2023): **Floral resources used by bees in urban areas: the case of Geneva, Switzerland**. *Frontiers in Ecology and Evolution* 11: 1199438.
80. Heiniger C., Steffen J. and Prunier P. (2020): **Suivi biologique – Ruisseau de la Sadaz**. Rapport d'étude, Etat de Vaud – DES-DGE, 20 p. (non-accessible, not published).
81. BAFU (Hrsg.) (2018): **Biodiversität im Stadtzentrum**. Bundesamt für Umwelt; URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/dossiers/biodiversitaet-im-stadtzentrum.html>; last visit 01.11.2024.
82. Spektrum.de (2000): **Landschaftsbild**. Lexikon der Geowissenschaften; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg; URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/landschaftsbild/9192>; last visit 29.01.2024.
83. IG Landschaft (2024): **Landschaftsbild - Das Landschaftsbild - wichtiger Baustein für die Lebensqualität des Menschen**. URL: https://www.ig-landschaft.ch/de/natur_landchaft/landschaftsbild.php; last visit 29.01.2024.
84. BAFU (Hrsg.) (2020): **Landschaftskonzept Schweiz - Landschaft und Natur in den Politikbereichen des Bundes**. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Info Nr. 2011: 52 S.
85. Schweizerischer Bundesrat (Hrsg.) (2021): **Strategie Nachhaltige Entwicklung 2030**. Schweizerischer Bundesrat Bern, 23. Juni 2021; URL: www.are.admin.ch/sne; last visit 29.01.2024.
86. IG Landschaft (2024): **Siedlungsökologie- mehr Natur im Arbeits- und Wohnumfeld**. URL: <https://www.ig-landschaft.ch/de/siedlungsökologie/index.php>; last visit 29.01.2024.
87. Anne Scheidegger, Daniel Béguin and Patrice Prunier (2021): **Analyse phytosociologique des pelouses et prairies extensives en Ville de Genève**. Saussurea 50, p. 129-146, Journal de la Société botanique de Genève.
88. Département du territoire (Genève) (2024): **Conception cantonale du paysage - cahier 2 - objectifs de qualité paysagère**. URL: <https://www.ge.ch/document/conception-cantonale-du-paysage>; last visit 01.11.2024.
89. B. Grard (2017): **Des Technosols construits à partir de produits résiduels urbains : services écosystémiques fournis et évolution**. *Ecologie, Environnement*. Université Paris Saclay (COMUE), 2017. Français. NNT : 2017SACLA043; HAL Id: tel-01779723.
90. Prunier P., Steffen J., Boivin P., Frossard P., Guiné V., Mörch F., Renaud E., Rochefort S. and Amos E. (2023): **Des technosols pour des toitures extensives durables**. Dans: *Agir pour les sols urbains*. Plante & Cité 9: 32-34.
91. Christoph Bühler, Kathrin Wunderle and Stefan Birrer (2017): **Bewertungsmethode für Eingriffe in schutzwürdige Lebensräume**. Hintermann & Weber AG, Austraße 2a CH-4153 Reinach; URL: <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=49595&Load=true>; last visit: 09.12.2024.

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gleisbereiche in denen eine Begrünung möglich ist.	11
Abbildung 2: Dreieck der primären ökologischen Strategien	12
Abbildung 3: Lage der Versuchsstandorte im Schweizer Mittelland (grüne biogeographische Zone):	12
Abbildung 4: Typisches, auf den Gehwegen im Gleisbereich verwendetes Substrat	14
Abbildung 5A: Vergleich der C_{org} -Gehalte im Substrat der Standorte.	15
Abbildung 5B: Vergleich der C_{org} -Gehalte im Substrat der Verfahrens-Wiederholungen.	15
Abbildung 6: Temperaturgänge (Luft, Boden) in Cousset (COU) und Cornaux (COR). Einfluss der Beschattung auf die Bodentemperatur in Cornaux 2023 (gleitendes Mittel 14d).	17
Abbildung 7A: In der Klimakammer erzielte Ergebnisse hinsichtlich Anzahl gekeimter Arten pro Mischung	21
Abbildung 7B: Keimung der Mischungen, ergänzt durch Erhebungen an den Versuchsstandorten	21
Abbildung 8: «Punkt-Quadrat»-Erhebungsmethode	24
Abbildung 9: Versuchsschema von Lullier.	25
Abbildung 10: Dachanlage in Lullier (Januar 2020). Links: fertiggestellter Plot vor der Ansaat. Mitte: Abfolge verschiedener Versuche. Rechts oben: Auflagematerial. Rechts unten: Auflagematerial, vergrößerte Darstellung.	26
Abbildung 11: Entwicklung der Vegetation (CSR 3, RR 2, SS 2) auf der Dachanlage im Mai 2022 (links) und im Mai 2023 (rechts)	26
Abbildung 12: Entwicklung des Deckungsgrads der Vegetation nach Mischung und Kategorie im Verlauf der Jahre am Standort Cousset.	28
Abbildung 13: Deckungsgrad der Vegetation nach Mischung und Kategorie nach fünf und drei Beobachtungsjahren am Standort Cousset	28
Abbildung 14: Entwicklung des Deckungsgrads der Vegetation nach Kategorie im Verlauf der Jahre am Standort Le Landeron	29
Abbildung 15: Deckungsgrad der Vegetation nach Kategorie nach fünf und drei Beobachtungsjahren am Standort Le Landeron.	29
Abbildung 16: Le Landeron. 16.06.2020: Gleiserneuerungsarbeiten, Übersicht der südlichen Versuchsflächen. 15.05.2023 von links nach rechts: Plots 9-11 (KT, CSR, RR) und Plot 12 (SS) mit Übersicht über die nördliche Hälfte des Standortes.	30
Abbildung 17: Le Landeron. Regeneration der Vegetation der teilweise zerstörten Wiederholung SS-1 (Fotos und linke Abbildung) im Vergleich zur vollständig zerstörten und neu angesäten Wiederholung SS-4 (rechte Abbildung).	30
Abbildung 18: Entwicklung des Deckungsgrads von 2021 bis 2023 am Standort Cornaux	31
Abbildung 19: Deckungsgrad am Standort MuttENZ.	31
Abbildung 20: Deckungsgrad am Standort Bavois.	32
Abbildung 21: Verschiedene Mischungen im Vergleich zur spontanen Vegetation	33
Abbildung 22: Entwicklung des Deckungsgrads nach Mischung in der In-situ-Anlage Lullier von 2021 bis 2023 im Frühling (oben) und im Herbst (unten).	34
Abbildung 23: Entwicklung der Artenvielfalt der Pflanzen des Pflanzenteppichs nach angesäter Mischung (n = 8 pro Modalität) am Standort Cousset.	35
Abbildung 24: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei der ruderalen Mischung «RR» verzeichneten Gefässpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)	36
Abbildung 25: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei der stresstoleranten Mischung «SS» verzeichneten Gefässpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)	37
Abbildung 26: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei der polyvalenten Mischung «CSR» verzeichneten Gefässpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)	38
Abbildung 27: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei der ubiquitären Mischung «TV2» verzeichneten Gefässpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)	39
Abbildung 28: Kumulierter spezifischer Beitrag (sB) (> 1 %) der bei den nicht angesäten Plots verzeichneten Gefässpflanzen zur gesamten Biomasse am Standort Cousset (2023)	40

Abbildung 29: Entwicklung der durchschnittlichen Deckung der Gefässpflanzen (links) und Anteil der angesäten Arten (Mitte) sowie der problematischen Arten (rechts) an den sechs Standorten; alle Mischungen, ohne Kontrollplots.	43
Abbildung 30: Abbildung der am häufigsten angesäten Arten an allen Standorten für alle Mischungen.	44
Abbildung 31: Abbildung der am häufigsten verzeichneten spontanen Arten an allen Standorten	45
Abbildung 32: Abbildung der am häufigsten verzeichneten problematischen Arten an allen Standorten.....	46
Abbildung 33: Entwicklung der Bruttodeckungswerte nach Mischungstyp für alle beobachteten Plots	47
Abbildung 34: Entwicklung der Deckung für die ruderale Mischung «RR» nach Standort	48
Abbildung 35: Entwicklung der Deckung für die ubiquitäre Mischung «TV2» nach Standort	48
Abbildung 36: Entwicklung der Bruttowerte der Artenvielfalt nach Mischungstyp für alle untersuchten Plots	49
Abbildung 37: Entwicklung der Artenvielfalt nach Mischungstyp für den Standort Cousset	50
Abbildung 38: Entwicklung der Artenvielfalt nach Mischungstyp für den Standort Le Landeron	50
Abbildung 39: Deckung durch Gefässpflanzen in Abhängigkeit der organischen Substanz für alle Mischungen und Standorte	51
Abbildung 40: Deckung durch Gefässpflanzen in Abhängigkeit der organischen Substanz für die polyvalente Mischung «CSR» an allen Standorten	52
Abbildung 41: Deckung durch Gefässpflanzen in Abhängigkeit der organischen Substanz für die ruderale Mischung «RR» an allen Standorten	52
Abbildung 42: Vergleich der Deckungen von Sedum-Arten und Spontanvegetation in den Jahren 2021 und 2023 abhängig vom Standort.....	58
Abbildung 43: Spezifische Vielfalt an Bryophyten nach Mischung in Le Landeron (LL) und Cousset (COU)	58
Abbildung 44: Fotodokumentation der Entwicklung von Keimung auf einer Untersuchungsfläche von 5 m ² (2 m x 2,5 m):.....	60
Abbildung 45: Deckung der Gefässpflanzen im Synergie-Versuch in den zwei Verfahren Moos entfernt (gelbe Linie) und Moos belassen (= Kontrolle, grüne Linie) von Dez. 2021 bis Sep. 2023	60
Abbildung 46: Auf den Standorten vorkommende invasive Neophyten - siehe Liste «Gebietsfremde Arten in der Schweiz».....	61
Abbildung 47: Bildung von farbigen Blüten; Lebensraum für Insekten und Schnecken.....	64
Abbildung 48: Entwicklung der Vegetation im Jahresverlauf 2021 auf Plot 23 in Cousset, xerophyle Mischung «SS»	65
Abbildung 49: Cousset. Progressive Teppichbildung auf Plot 19 (SS-5) durch Hippocrepis comosa.	66
Abbildung 50: Cousset. Ausdehnung des durch Hippocrepis comosa gebildeten blühenden Teppichs auf Plot 19 (SS-5) am 1. Mai 2025.	66

13 Tabellenverzeichnis

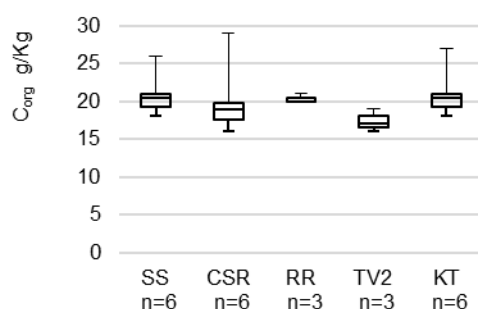
Tabelle 1: Übersicht der Versuchsanlage	13
Tabelle 2: Anzahl Tage mit Bodentemperaturen (-5 cm) über 35 °C respektive 40 °C und maximale registrierte Jahrestemperatur pro Standort und Jahr.....	16
Tabelle 3: Temperaturen der Bodenoberfläche auf dem Flachdach in Lullier: Anzahl Tage mit mehr als 40 °C bzw 50 °C, Maximalwerte.	16
Tabelle 4: Testbedingungen und getestete Verfahren in den Klimakammer-Versuchen. *in/en PPFD: Photosynthetic Photon Flux Density	19
Tabelle 5: Arten, die in der Klimakammer nicht gekeimt sind, verglichen mit ihrem Vorkommen unter Freilandbedingungen an den SBB-Standorten und auf der Dachanlage in Lullier (Anzahl Zählungen während der gesamten Versuchsperiode).....	21
Tabelle 6: Anzahl der Vorkommen der 10 am häufigsten angesäten und an allen Untersuchungsstandorten (Frühling und Herbst) verzeichneten Arten.....	44
Tabelle 7: Anzahl der Vorkommen der 10 am häufigsten verzeichneten spontanen Arten (Frühling und Herbst) an allen Untersuchungsstandorten.	45
Tabelle 8: Anzahl der Vorkommen der 10 am häufigsten verzeichneten problematischen Arten (Frühling und Herbst) an allen Untersuchungsstandorten.	46

14 Anhang

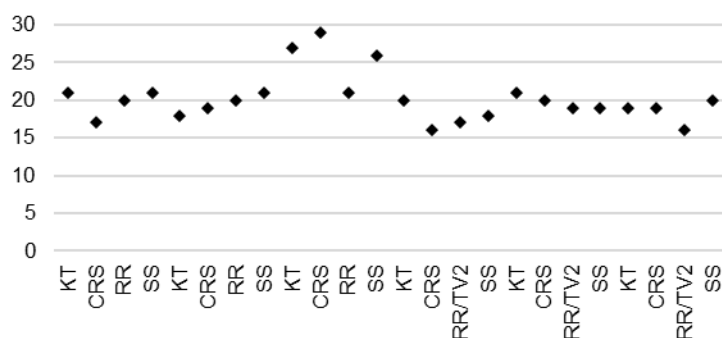
Anhang 1 A) : Cousset: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.	77
Anhang 1 B) : Le Landeron: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.	78
Anhang 1 C) : Cornaux: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.	79
Anhang 1 D) : Muttenz: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.	80
Anhang 1 E) : Bavois: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.	81
Anhang 1 F) : Dole: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.	82
Anhang 1 G) : Lullier: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.	83
Anhang 1 H) : Seebach: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.	84
Anhang 2 : Zusammensetzung der Mischungen sowie Vorkommen & Häufigkeit der Arten auf den Versuchsstandorten.	85
Anhang 3 : Verteilung der Niederschläge [mm/m ²] pro Standort während der Versuchsjahre, mit Anzeige der beiden Saatzeitpunkte und der Vegetationsdauer.	86
Anhang 4 : Vergleich der maximalen Tagestemperaturen im Boden pro Standort und Jahr.	87
Anhang 5 : Geglättete Niederschlagssummen in mm pro Tag während der Versuchsjahre im gleitenden Mittel von 60 Tagen an den sieben Schweizer Standorten.	88
Anhang 7 : Lineare Trends der Wetterentwicklung von 2000 bis 2023. Grundlage sind die Tageswerte der jeweils dem Standort nächstgelegenen Wetterstation von MeteoSchweiz. Nota bene: Die Trends zeigen eine Tendenz an, kein absolutes Mass.	89
Anhang 8 A : Entwicklung der Mischungen in den Klimakammerversuchen. Links: CC unter warmen Bedingungen; rechts: TV2 unter kühlen Bedingungen. (© Fabienne Mörch).	90
Anhang 8 B : Entwicklung der Mischungen in den Klimakammerversuchen - Qualitative Besprechung der Arten ..	91
Anhang 9 (Teil 1) : Statistischer Vergleich der Deckung durch gesäte, spontane und problematische Arten nach Mischungsart, Standort und Jahr (Le Landeron und Cousset).	92
Anhang 9 (Teil 2) : Statistischer Vergleich der Deckung durch gesäte, spontane und problematische Arten nach Mischungsart, Standort und Jahr (Le Landeron und Cousset).	93
Anhang 10 A) : Vorkommen & Häufigkeit der spontanen Arten auf den Versuchsstandorten.	94
Anhang 10 B) : Vorkommen & Häufigkeit der problematischen Arten auf den Versuchsstandorten.	95
Anhang 11 (Teil 1) : Statistischer Vergleich der Unterschiede bei der Deckung nach Mischung je nach Artenkategorien: angesät, spontan und problematisch nach Standort und Jahr (Le Landeron, Cousset und Lullier)	96
Anhang 11 (Teil 2) : Statistischer Vergleich der Unterschiede bei der Deckung nach Mischung je nach Artenkategorien: angesät, spontan und problematisch nach Standort und Jahr. (Muttenz, Bavois und Cornaux) ..	97

Anhang 1 B): Le Landeron: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.

Mischungen	Ansaat am 25.04.2019: SS, CSR, RR, KT An- & Reparatursaat am 02.12.2020: SS, CSR, RR, TV2 (ersetzt die Hälfte der RR-Wiederholungen)
Wiederholungen	Je 6 Wiederholungen à 15 m ² ; (nach neuer Ansaat 2020 je 3 Wiederholungen für RR und TV2)
Vorbereitung und weiterer Unterhalt	Vor der ersten Aussaat wurden die Versuchsflächen von Hand gejätet und das pflanzliche Material abgeführt. Es wurde kein weiterer Unterhalt durchgeführt; einzig wurden seitlich einwachsende Brombeeren geschnitten. Neuansaat auf Plot 13-24: CSR, SS nachgesät. RR durch TV2 ersetzt. Die TV2-Plots und Plot 22 wurden vor der Aussaat gejätet, die übrigen übersät.
Substrat Analyse	Bestimmung des Humusgehaltes; Beprobung Oktober 2019
Wetterdaten	Daten der Station Cressier von 2011 - 2023
Vegetationsaufnahmen	Quantitativ und qualitativ im Frühjahr und Herbst von 2019 - 2021 Quantitativ und qualitativ im Frühjahr 2022 und 2023



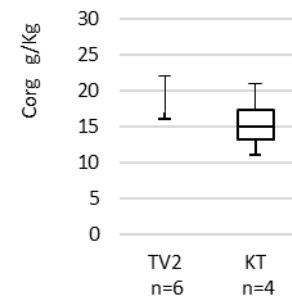
*Streuung der C_{org}-Gehalte auf den Wiederholungen der Mischungen;
P-Wert = 0.524844277*



Räumliche Verteilung der C_{org}-Gehalte der einzelnen Wiederholungen auf dem Standort in der Plot-Reihenfolge.

Anhang 1 C): Cornaux: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.

Mischungen	Ansaat am 02.12.2020: TV2
Wiederholungen	TV2: 6 Wiederholungen und KT: 4 Wiederholungen à 15 m ²
Vorbereitung und weiterer Unterhalt	Vor der ersten Aussaat wurden die Versuchsflächen von Hand gejätet und das pflanzliche Material abgeführt. Es wurde kein weiterer Unterhalt durchgeführt.
Substrat Analyse	Bestimmung des Humusgehaltes; Beprobung Dezember 2020
Wetterdaten	Daten der Station Cressier von 2011 - 2023
Bodentemperatur	Erfassung in -5 cm Tiefe; 2021 – 2023 Messung während der Vegetationsperiode
Vegetationsaufnahmen	Quantitativ und qualitativ im Frühjahr und Herbst 2021, sowie im Herbst 2022 und 2023.



Streuung der C_{org} -Gehalte auf den Wiederholungen der Mischungen; P-Wert = 0.524844277



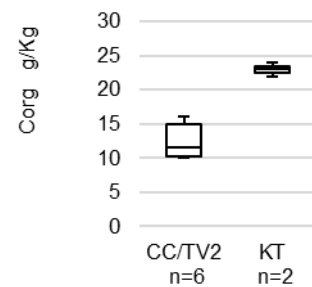
*Plots 2-5
Standorteinrichtung am
02.12.2020 und
Entwicklung bis zum
24.10.2023. Im
Vordergrund TV2 gefolgt
von 2 Kontrollen und
wieder einer TV2-
Wiederholung.*



Plot 1 links & 10 rechts (TV2) am 31.08.2021 am 15.05.2023 (Saat TV2)

Anhang 1 E): Bavois: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.

Mischungen	Ansaat am 29.04.2019: CC, KT Ansaat am 07.12.2020: TV2 (ersetzt CC)
Wiederholungen	6 Wiederholungen und 2 Kontrollen à 15 m ²
Vorbereitung und weiterer Unterhalt	Die Versuchsflächen wurden nicht gejätet Es wurde kein Unterhalt durchgeführt.
Substrat Analyse	Bestimmung des Humusgehaltes; Beprobung Oktober 2019
Wetterdaten	Daten der Station Mathod von 2000 - 2023
Vegetations- aufnahmen	Quantitativ und qualitativ im Frühjahr und Herbst 2019 - 2021 Qualitativ im Frühjahr 2022, danach gestoppt



Streuung der C_{org}-Gehalte auf den Wiederholungen der Mischungen; P-Wert = 0.524844277



Plot 1 am 29.04.2019 (Saat CC), am 07.12.2020 (Saat TV2) und Zustand am 23.10.2023 (ohne Vegetationsaufnahme; das Material im Vordergrund ist Maishäcksel)



Plot 4 (CC) am 22.07.2019 und 21.09.2020 dominiert von spontaner Vegetation aus der Böschung sowie am 23.10.2023 (ohne Vegetationsaufnahme).

Anhang 1 F): Dole: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.

Mischungen	Ansaat am 21. und 22. Oktober 2019: CC, KT
Wiederholungen	3 Wiederholungen CC à 80 m ² ; KT wurde von den SNCF angelegt
Vorbereitung und weiterer Unterhalt	Vorher: mechanische Entbuschung, Glyphosatspritzung und nochmalige Entbuschung, anschliessend Mahd Angesät wurde mittels Hydroseeding In den Folgejahren erfolgte je eine zweimalige Mahd
Substrat Analyse	Es wurden keine Substratanalysen durchgeführt.
Wetterdaten	Daten der Station Dole von 2003 – 2022 (Temperatur und Niederschläge)
Vegetationsaufnahmen	Durch Hepia die eigene Mischung quantitativ und qualitativ am 12.10.2022



Spontane Vegetation und Neophyten



Das Substrat in Dole



Mischung CC, hier zwischen und auf den Gleisen gesät.

Anhang 1 G): Lullier: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.

Mischungen	Erste Ansaat 13. Februar 2020: SS, CSR, RR, CC, KT Ansaat & Nachsaat im Herbst 2020: SS, CSR, RR, TV2 (ersetzt alle CC-Wiederholungen)
Wiederholungen	Ansaaten je 3 Wiederholungen à 15 m ² ; KT: 12 Wiederholungen à 2 m ²
Vorbereitung und weiterer Unterhalt	Die Versuchspartzellen wurden auf der Dachanlage der Hepia erstellt. Reproduziert wurden Unterhaltswege: Auf dem Dach wurden 12 Kästen mit 2 x 8.5 m Grundriss installiert. Auf die Dachoberfläche wurde eine 20 cm mächtige, entwässerte Schottererschicht gelegt. Diese wurde mit einer 10 cm mächtigen Mergelschicht (Gravier Enney) bedeckt. Im oberen Bereich jedes Kastens wurde eine 2 x 1 m grosse Fläche als Kontrolle belassen. Es wurde kein Unterhalt durchgeführt.
Substrat Analyse	Bestimmung des Humusgehaltes; Beprobung Januar 2020
Wetterdaten	Daten der Station Lullier (Agrometeo) von 2006 - 2023
Bodentemperatur	Erfassung an der Oberflächentemperatur 2021 und 2022
Vegetationsaufnahmen	Quantitativ und qualitativ im Frühjahr und Herbst 2019 - 2023



Entwässerung der Plots auf der Dachanlage und Ansaat von Hand. © Patrice Prunier



Nur im Schatten am Rande der Installation konnten wenige Pflanzen das Frühjahr und den Sommer 2020 überleben.
© Patrice Prunier

Anhang 1 H): Seebach: Am Standort getestete Verfahren und erhobene Parameter.

Mischungen	Aussaat 29. April 2021: TV2
Wiederholungen	3 gejätet bzw. von Moos befreit und 3 mit Moos belassen jeweils à 5 m ²
Vorbereitung und weiterer Unterhalt	Es wurde kein weiterer Unterhalt durchgeführt.
Wetterdaten	Daten der Station Zürich Affoltern von 2000-2018 verglichen mit 2019-2023
Vegetationsaufnahmen	Fotodokumentation monatlich während der Vegetationsperiode 2022 und 2023



Tastversuch Seebach: Einrichten des Tastversuches am 3. 12. 2021 am Bahnhof Seebach

Bild links: Entfernen der Mooschicht mit einer Pendelhacke; Bild Mitte Saat der Samenmischung TV2 von Hand; Bild rechts Übersicht der 6 Kleinparzellen (2 x 2.5 m) mit je drei Wiederholungen.

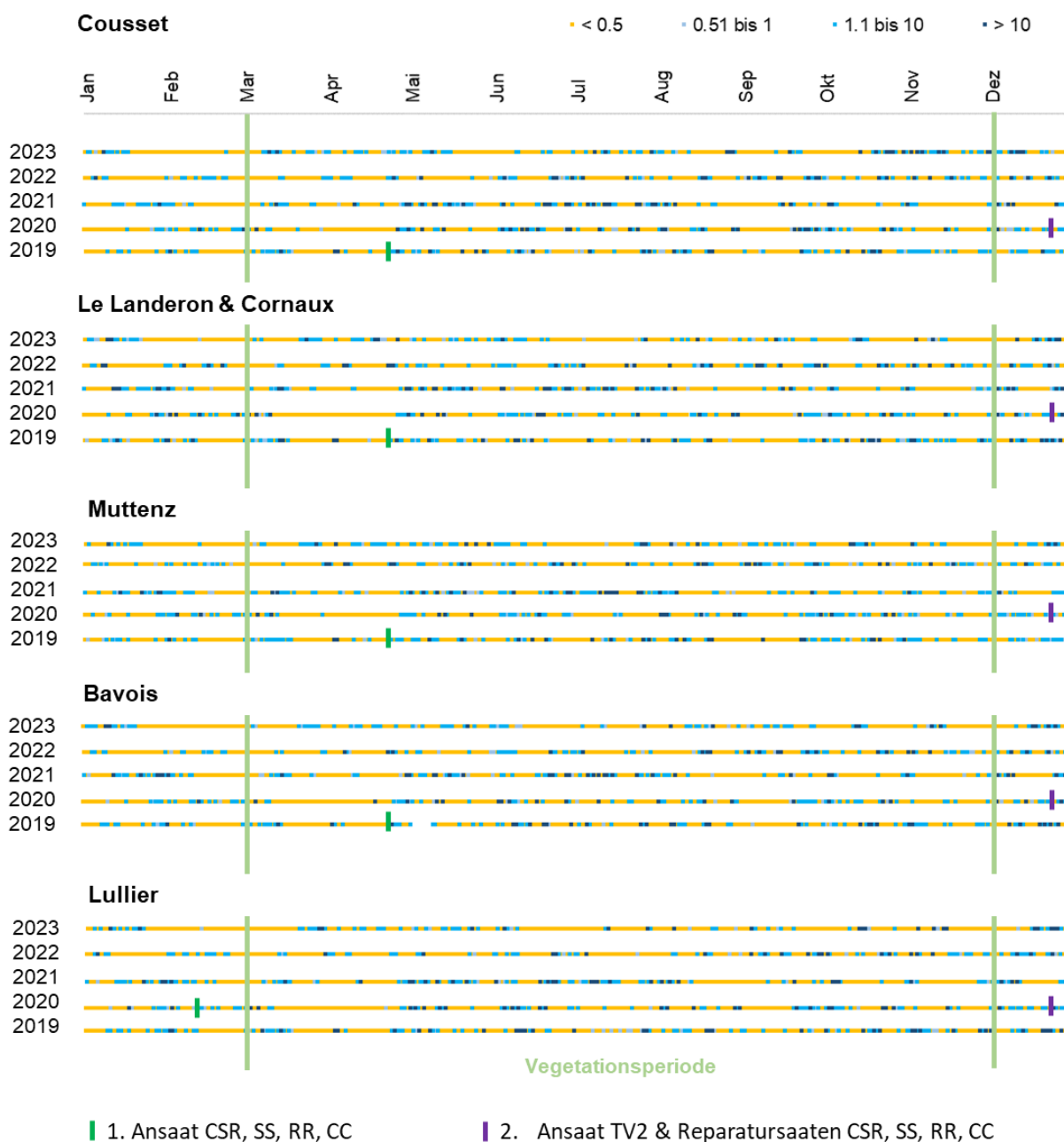
Anhang 2: Zusammensetzung der Mischungen sowie Vorkommen & Häufigkeit der Arten auf den Versuchsstandorten.

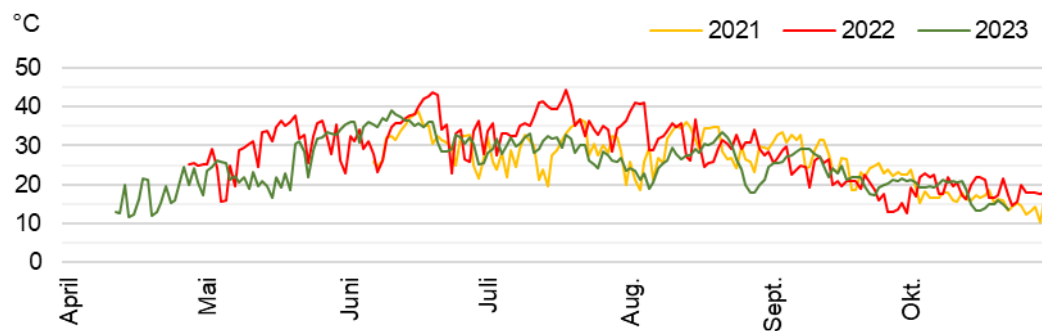
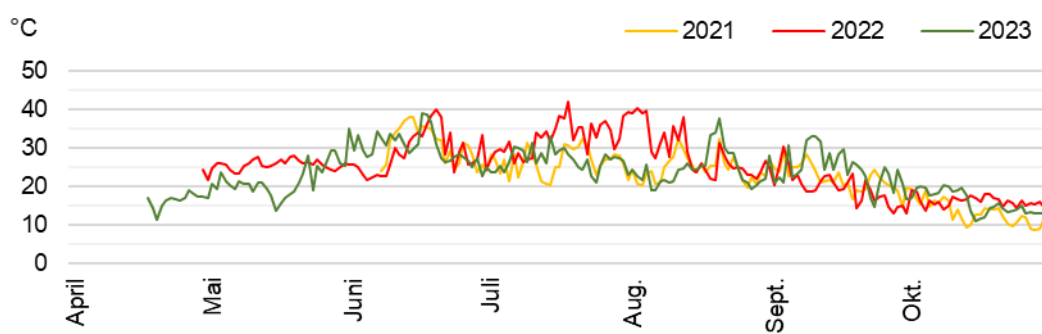
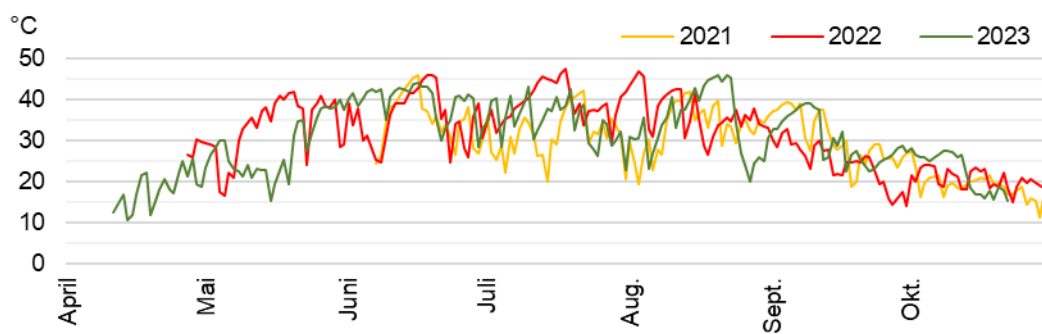
Zusammensetzung der Mischungen: Gesäte Arten	Mischungen					Häufigkeit		
	RR	SS	CC	CRS	TV2	in Situ	ex Situ	Lullier
<i>Achillea millefolium</i> L.			X	X	X	135	19	154
<i>Acinos arvensis</i> (Lam.) Dandy	X				X	47	36	83
<i>Ajuga reptans</i> L.				X		1	0	1
<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>carpatica</i> (Pant.) Nyman			X	X	X	177	63	240
<i>Aphanes arvensis</i> L.	X				X	1	17	18
<i>Arabis hirsuta</i> (L.) Scop.		X				0	2	2
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.	X				X	225	51	276
<i>Bellis perennis</i> L.				X		6	3	9
<i>Bromus erectus</i> Huds. subsp. <i>erectus</i>		X		X	X	308	52	360
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	X		X	X	X	28	0	28
<i>Bromus tectorum</i> L.	X	X	X	X	X	143	45	188
<i>Campanula rotundifolia</i> L.				X		1	0	1
<i>Chaenorhinum minus</i> (L.) Lange	X					68	8	76
<i>Clinopodium vulgare</i> L.			X			0	0	0
<i>Crepis capillaris</i> Wallr.	X				X	224	3	227
<i>Daucus carota</i> L.		X			X	326	42	368
<i>Dianthus armeria</i> L.	X					2	0	2
<i>Dianthus carthusianorum</i> L. subsp. <i>carthusianorum</i>		X		X	X	83	42	125
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér.	X			X	X	144	40	184
<i>Festuca laevigata</i> Gaudin		X				82	9	91
<i>Festuca nigrescens</i> Lam.			X			9	0	9
<i>Festuca ovina</i> aggr.						43	3	46
<i>Festuca rubra</i> L. subsp. <i>rubra</i>				X	X	124	32	156
<i>Fragaria vesca</i> L.				X		3	0	3
<i>Galeopsis angustifolia</i> Hoffm.	X				X	84	0	84
<i>Geranium molle</i> L.	X				X	11	4	15
<i>Geranium pusillum</i> L.	X				X	0	6	6
<i>Geranium pyrenaicum</i> Burm. f.	X					7	3	10
<i>Geranium rotundifolium</i> L.	X				X	20	31	51
<i>Glechoma hederacea</i> L. subsp. <i>hederacea</i>			X			0	0	0
<i>Hieracium pilosella</i> L.		X		X	X	78	4	82
<i>Hippocrepis comosa</i> L.		X			X	52	8	60
<i>Hypochaeris radicata</i> L. semée > 2021					X	176	0	176
<i>Koeleria pyramidata</i> (Lam.) P. Beauv.		X			X	23	30	53
<i>Leontodon autumnalis</i> L.	X		X			0	0	0
<i>Leontodon hispidus</i> aggr.			X			3	0	3
<i>Leontodon hispidus</i> L.				X		9	0	9
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.				X	X	71	11	82
<i>Lolium perenne</i> L.			X		X	26	6	32
<i>Lotus corniculatus</i> L.				X	X	92	2	94
<i>Medicago lupulina</i> L.	X		X	X	X	207	34	241
<i>Medicago minima</i> (L.) L.	X				X	87	11	98
<i>Origanum vulgare</i> L.				X	X	17	3	20
<i>Picris hieracioides</i> L. semé > 2021					X	46	0	46
<i>Pimpinella saxifraga</i> L.		X				0	0	0
<i>Plantago lanceolata</i> L.			X	X	X	178	27	205
<i>Plantago media</i> L.			X	X		6	5	11
<i>Poa angustifolia</i> L.		X		X	X	0	0	0
<i>Poa compressa</i> L.				X	X	258	56	314
<i>Poa pratensis</i> L.			X			7	1	8
<i>Prunella vulgaris</i> L.			X	X	X	17	2	19
<i>Sagina procumbens</i> L.	X					0	7	7
<i>Salvia pratensis</i> L.				X	X	20	2	22
<i>Sanguisorba minor</i> Scop. subsp. <i>minor</i>		X	X	X	X	285	47	332
<i>Saponaria ocymoides</i> L.		X				0	1	1
<i>Scabiosa columbaria</i> L. subsp. <i>columbaria</i>		X		X	X	29	1	30
<i>Sedum acre</i> L.		X			X	127	45	172
<i>Sedum album</i> L.		X			X	287	107	394
<i>Sedum rubens</i> L.						73	11	84
<i>Sedum rupestre</i> L.		X			X	23	83	106
<i>Sedum sexangulare</i> L.		X			X	26	12	38
<i>Silene nutans</i> L.			X			41	46	87
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke subsp. <i>vulgaris</i>			X	X	X	82	51	133
<i>Stachys recta</i> L.		X			X	75	19	94
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.		X			X	24	11	35
<i>Thymus praecox</i> Opiz						3	1	4
<i>Thymus pulegioides</i> L.			X	X	X	26	3	29
<i>Trifolium campestre</i> Schreb.	X	X	X	X	X	15	9	24
<i>Trifolium montanum</i> L.		X				0	0	0
<i>Trifolium repens</i> L. subsp. <i>repens</i>			X	X	X	40	2	42
<i>Veronica chamaedrys</i> L.			X	X		1	15	16
<i>Viola tricolor</i> L.	X					3	12	15
<i>Vulpia myuros</i> (L.) C. C. Gmel.	X					60	35	95

Anhang 3: Verteilung der Niederschläge [mm/m²] pro Standort während der Versuchsjahre, mit Anzeige der beiden Saatzeitpunkte und der Vegetationsdauer.

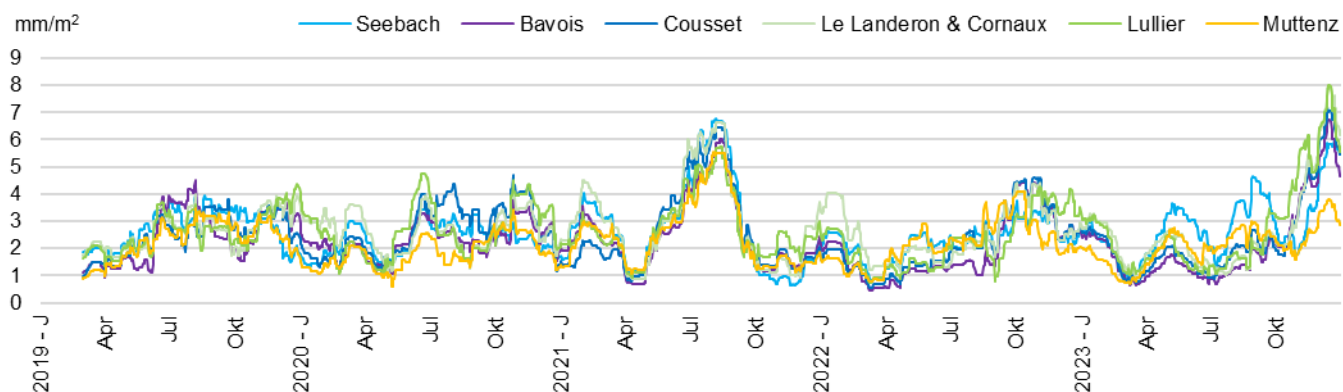
Das Substrat der untersuchten Gleisbereiche kann, anders als natürliche Böden, kaum Wasser speichern. Um die Auswirkungen der Niederschlagsverteilung auf die Vegetationsentwicklung unter diesen besonderen Bedingungen zu qualifizieren, wurden die Niederschlagsmengen in vier Kategorien zusammengefasst.

- **Mangelhafte Wasserverfügbarkeit:** Die erste mit 0 bis 0.5 Liter/m² beschreibt eine mangelnde Wasserversorgung, bei der (fast) kein Wasser den Wurzelraum erreicht und eine Keimung kaum möglich ist.
- **Minimale Wasserverfügbarkeit:** Bei der zweiten, von 0.6 bis 1 Liter/m², erreicht ein wenig Wasser den Wurzelraum, insbesondere per Abfluss über die Stängel und Blätter. Unter diesen Verhältnissen bestehen vorwiegend trockenheitsliebende Arten.
- **Mittlere Wasserverfügbarkeit:** Die dritte, von 1.1 bis 10 Liter/m², versorgt den Wurzelraum der meisten terrestrischen Gefäßpflanzen in ausreichendem Masse mit Wasser.
- **Hohe Wasserverfügbarkeit:** Die vierte Kategorie, mit mehr als 10 Liter/m², liefert an sich eine ausreichende Wassermenge; wenn diese jedoch durch kurze und heftige Regengüsse geliefert wird, kann es zu oberflächlichem Abfluss und Erosionserscheinungen kommen, respektive Samen, organisches Material und Feinerde bei ausreichendem Gefälle wegschwemmt werden.

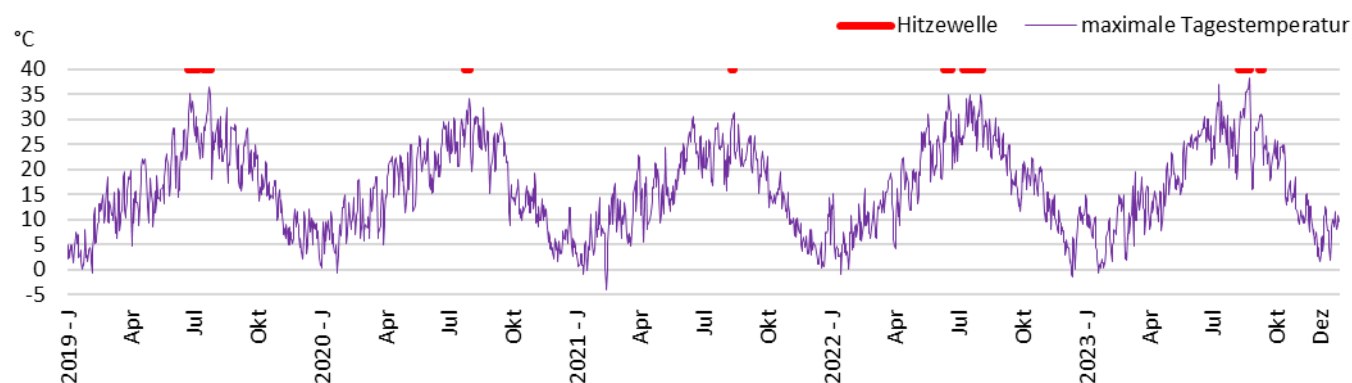


Anhang 4: Vergleich der maximalen Tagestemperaturen im Boden pro Standort und Jahr.**Cornaux****Muttenz****Cousset**

Anhang 5: Geglättete Niederschlagssummen in mm pro Tag während der Versuchsjahre im gleitenden Mittel von 60 Tagen an den sieben Schweizer Standorten.

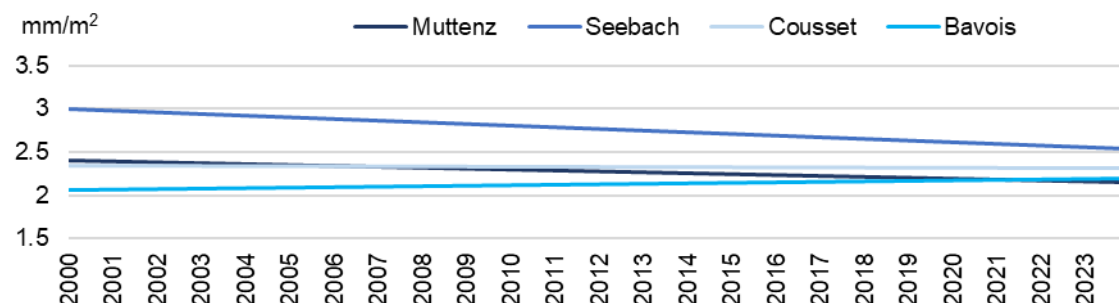


Anhang 6: Verlauf der maximalen Lufttemperaturen während der Versuchsjahre am Standort Bavois mit Darstellung der Hitzewellen.

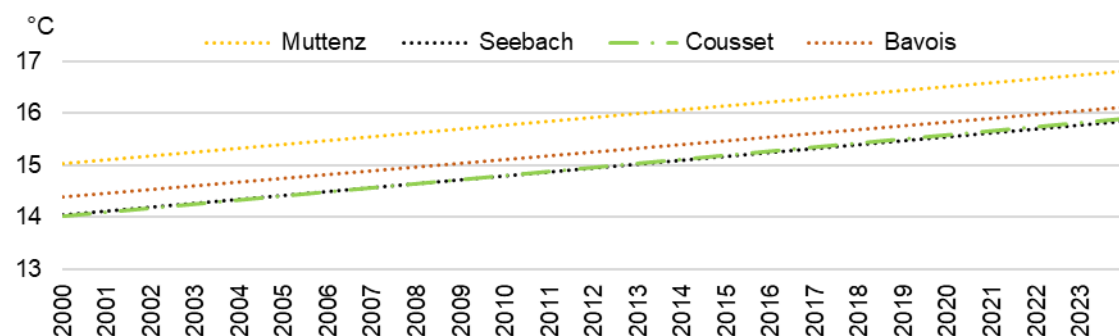


Anhang 7: Lineare Trends der Wetterentwicklung von 2000 bis 2023. Grundlage sind die Tageswerte der jeweils dem Standort nächstgelegenen Wetterstation von MeteoSchweiz. Nota bene: Die Trends zeigen eine Tendenz an, kein absolutes Mass.

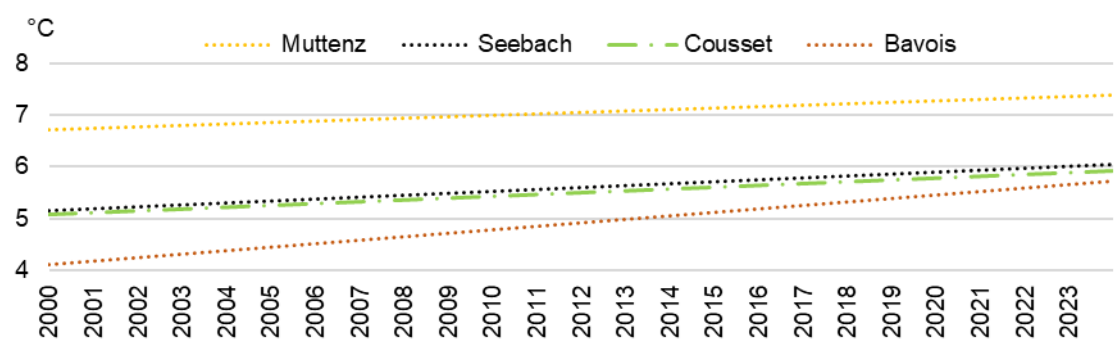
Trend der jährlichen Niederschläge im Tagesdurchschnitt



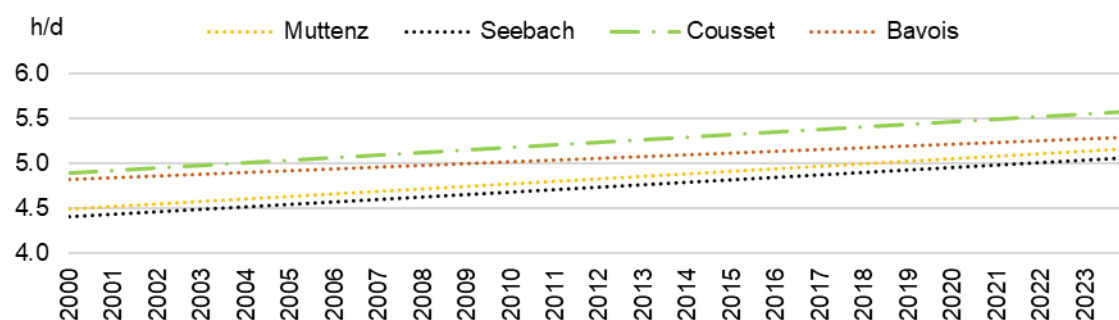
Trend der maximalen Tagestemperaturen der Luft



Trend der minimalen Tagestemperaturen der Luft

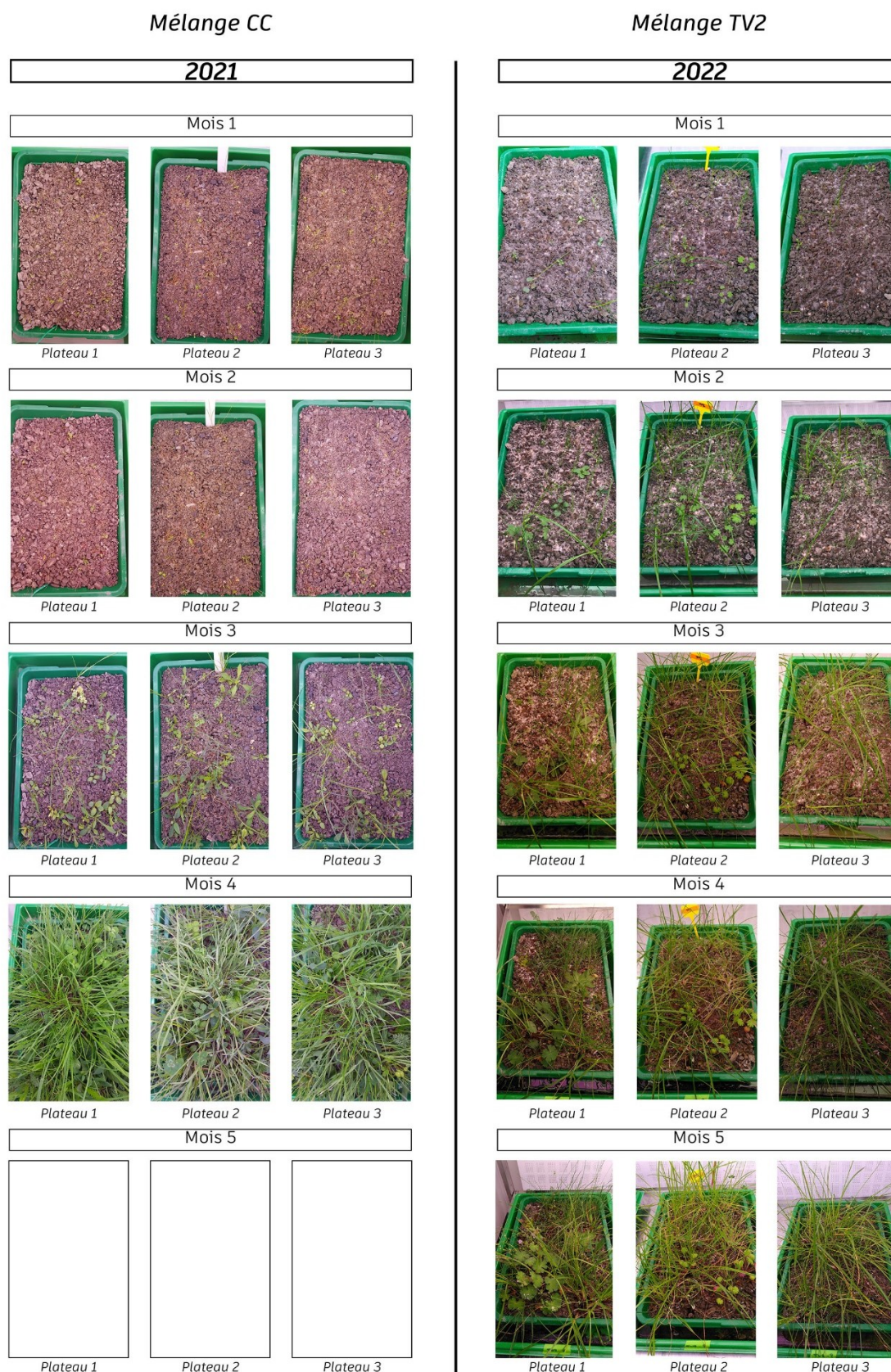


Trend der täglichen Sonnenscheindauer



Anhang 8 A: Entwicklung der Mischungen in den Klimakammerversuchen. Links: CC unter warmen Bedingungen; rechts: TV2 unter kühlen Bedingungen. (© Fabienne Mörch)

Tapis Vert



Anhang 8 B: Entwicklung der Mischungen in den Klimakammerversuchen - Qualitative Besprechung der Arten**Konkurrenzfähige Mischung CC**

Bei der Familie der Süßgräser entwickelten sich *Bromus hordeaceus*, *Festuca nigrescens* und *Lolium perenne*, während *Bromus tectorum* und *Poa pratensis* nicht keimten. Bei den Hülsenfrüchtlern keimten alle Arten mit Ausnahme von *Trifolium campestre*. Auch bei den anderen Familien erfolgte eine Keimung, ausser bei den Lippenblütlern (*Glechoma hederacea*).

Ruderales Mischung RR

In beiden Versuchen keimten alle Süßgräser der Mischung (*Bromus hordeaceus*, *Bromus tectorum* und *Vulpia myuros*). Bei den Hülsenfrüchtlern keimten alle Arten der Mischung. *Medicago minima* wurde nur bei hohen Temperaturen, *Medicago lupulina* und *Trifolium campestre* nur bei niedrigen Temperaturen beobachtet. Bei den übrigen Familien keimten *Acinos arvensis*, *Chaenorrhinum minus* und *Crepis capillaris* nur bei hohen Temperaturen. *Dianthus armeria*, *Geranium rotundifolium* und *G. molle* keimten nur bei niedrigen Temperaturen. Bei den Storchschnabelgewächsen keimte nur ein Sämling bei hohen Temperaturen, entwickelte sich aber nicht genug, um die Art zu bestimmen. Abschliessend erfolgte bei den folgenden Arten keine Keimung: *Galeopsis angustifolia*, *Geranium pusillum*, *Geranium pyrenaicum*, *Leontodon autumnalis* und *Viola tricolor*.

Stresstolerante Mischung SS

In der Familie der Süßgräser keimten bei beiden Versuchen alle Arten ausser *Koeleria pyramidata*. Bei den Hülsenfrüchtlern keimten alle Arten. *Trifolium campestre* keimte in beiden Versuchsjahren. *Anthyllis vulneraria* und *Hippocrepis comosa* keimten nur bei hohen Temperaturen, *Trifolium montanum* nur bei niedrigen Temperaturen. Familie der Dickblattgewächse: *Sedum album*, *S. rupestre* und *S. sexangulare* keimten in beiden Versuchsjahren, *S. acre* keimte gar nicht. Bei den anderen Familien keimten *Daucus carota*, *Dianthus carthusianorum* subsp. *carthusianorum*, *Scabiosa columbaria* subsp. *columbaria* und *Stachys recta* nur bei hohen Temperaturen. *Sanguisorba minor* subsp. *minor*, *Saponaria ocymoides* und *Teucrium chamaedrys* keimten in beiden Versuchen. Bei *Arabis hirsuta*, *Hieracium pilosella* und *Pimpinella saxifraga* blieb die Keimung aus.

Polyvalente Mischung CSR

Bei der Familie der Süßgräser zeigten sich in beiden Versuchsjahren ähnliche Ergebnisse, wobei *Bromus erectus* subsp. *erectus*, *Festuca rubra* subsp. *rubra* und *Poa angustifolia* vertreten sind. *Bromus hordeaceus*, *Bromus tectorum* und *Poa compressa* fehlten in beiden Jahren. Bei der Familie der Hülsenfrüchtler sind in den beiden Versuchsjahren ähnliche Ergebnisse festzustellen: Vorkommen von *Trifolium campestre* und *Trifolium repens* subsp. *repens*, Fehlen von *Anthyllis vulneraria* subsp. *carpatica*, *Lotus corniculatus* und *Medicago lupulina*. Bei den anderen Familien keimten *Achillea millefolium*, *Bellis perennis*, *Dianthus carthusianorum* subsp. *carthusianorum* und *Leucanthemum vulgare* s.l. in beiden Versuchen. Die Arten *Erodium cicutarium*, *Hieracium pilosella*, *Origanum vulgare*, *Plantago lanceolata*, *Plantago media* und *Prunella vulgaris* keimten nur bei hohen Temperaturen. *Leontodon hispidus*, *Sanguisorba minor* subsp. *minor* und *Silene vulgaris* subsp. *vulgaris* dagegen keimten nur bei niedrigen Temperaturen. Bei *Ajuga reptans*, *Campanula rotundifolia*, *Fragaria vesca*, *Salvia pratensis*, *Scabiosa columbaria* subsp. *columbaria*, *Thymus pulegioides* und *Veronica chamaedrys* blieb die Keimung aus.

Ubiquitäre Mischung TV2

Mit Ausnahme von *Vulpia myuros* keimten alle Süßgräser der Mischung. Bei der Familie der Hülsenfrüchtler keimten nur drei von sechs Arten (*Anthyllis vulneraria* subsp. *carpatica*, *Medicago lupulina* und *Trifolium repens* subsp. *repens*). Bei der Familie der Dickblattgewächse erfolgte nur bei *Sedum acre* keine Keimung. Bei den anderen Familien blieb die Keimung bei 20 von 31 Arten aus: *Acinos arvensis*, *Campanula rotundifolia*, *Clinopodium vulgare*, *Crepis capillaris*, *Dianthus carthusianorum* subsp. *carthusianorum*, *Galeopsis angustifolia*, *Geranium pyrenaicum*, *Hieracium pilosella*, *Hypericum perforatum*, *Leontodon autumnalis*, *Origanum vulgare*, *Picris hieracioides*, *Plantago lanceolata*, *Plantago media*, *Salvia pratensis*, *Sanguisorba minor* subsp. *minor*, *Scabiosa columbaria* subsp. *columbaria*, *Stachys recta*, *Teucrium chamaedrys* und *Thymus pulegioides*.

Anhang 9 (Teil 1): Statistischer Vergleich der Deckung durch gesäte, spontane und problematische Arten nach Mischungsart, Standort und Jahr (Le Landeron und Cousset)

Ort	Jahr	Mischung	Test	p_value	Problematische Arten	Gesäte Arten	Spontane Arten	Problematische Arten	Gesäte Arten	Spontane Arten
					Statistische Gruppe			Mittel		
Le Landeron	0	K	Kruskall-Wallis	0.076	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	0	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	0.0	11.1	23.8
Le Landeron	0	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	0.2	4.0	26.5
Le Landeron	0	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.004	a	ab	b	1.4	5.4	26.6
Le Landeron	0	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	0.4	13.9	24.6
Le Landeron	1	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	c	0.0	5.5	21.6
Le Landeron	1	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.4	11.6	21.0
Le Landeron	1	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.3	10.1	22.3
Le Landeron	1	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.6	14.3	14.4
Le Landeron	1	TV2	Kruskall-Wallis	0.051	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	2	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.4	8.7	19.9
Le Landeron	2	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.1	20.7	19.7
Le Landeron	2	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.008	a	b	b	1.1	16.7	15.3
Le Landeron	2	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.9	23.3	19.8
Le Landeron	2	TV2	Kruskall-Wallis	0.065	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	3	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.002	a	ab	b	0.2	5.1	22.4
Le Landeron	3	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	0.0	17.2	19.7
Le Landeron	3	RR	Kruskall-Wallis	0.118	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	3	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	0.4	27.4	21.0
Le Landeron	4	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.005	a	b	b	0.4	21.4	24.4
Le Landeron	4	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	0.4	32.0	31.9
Le Landeron	4	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.027	a	b	ab	1.2	44.7	21.9
Le Landeron	4	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	1.8	36.2	32.1
Cousset	0	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	a	b	1.2	4.0	19.8
Cousset	0	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	c	0.2	7.4	41.3
Cousset	0	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	c	0.2	6.7	38.2
Cousset	0	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	c	0.0	3.8	36.6
Cousset	0	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.5	25.4	20.2
Cousset	1	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.002	a	ab	b	2.4	12.3	25.7
Cousset	1	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	1.0	30.2	21.1
Cousset	1	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.001	a	b	b	2.0	27.2	19.8
Cousset	1	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.001	a	b	b	0.9	18.4	19.2
Cousset	1	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	1.9	30.5	24.7
Cousset	2	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	c	2.2	12.9	32.2
Cousset	2	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.3	28.7	35.5
Cousset	2	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.001	a	b	b	0.6	32.4	30.8
Cousset	2	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.7	30.3	27.3
Cousset	2	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	1.9	44.8	26.5
Cousset	3	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	5.7	18.2	28.0
Cousset	3	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	1.4	28.8	32.1
Cousset	3	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.2	39.5	19.9
Cousset	3	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	1.0	28.7	27.8
Cousset	4	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	3.4	35.8	29.1
Cousset	4	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.4	42.9	34.9
Cousset	4	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.0	51.8	24.7
Cousset	4	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	c	1.6	50.4	23.6

Anhang 9 (Teil 2): Statistischer Vergleich der Deckung durch gesäte, spontane und problematische Arten nach Mischungsart, Standort und Jahr (Le Landeron und Cousset)

Ort	Jahr	Mischung	Test	p_value	Problematische Arten	Gesäte Arten	Spontane Arten	Problematische Arten	Gesäte Arten	Spontane Arten
					Statistische Gruppe			Mittel		
Muttenz	0	K	Kruskall-Wallis	0.402	na	na	na	na	na	na
Muttenz	0	CSR	Kruskall-Wallis	0.959	na	na	na	na	na	na
Muttenz	0	RR	Kruskall-Wallis	0.345	na	na	na	na	na	na
Muttenz	0	SS	Kruskall-Wallis	0.831	na	na	na	na	na	na
Muttenz	0	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.005	a	b	b	1.1	3.6	7.3
Muttenz	0	CC	Kruskall-Wallis	0.368	na	na	na	na	na	na
Muttenz	1	K	Kruskall-Wallis	0.053	na	na	na	na	na	na
Muttenz	1	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.007	a	b	b	4.4	0.6	1.5
Muttenz	1	RR	Kruskall-Wallis	0.113	na	na	na	na	na	na
Muttenz	1	SS	Kruskall-Wallis	0.237	na	na	na	na	na	na
Muttenz	1	CC	Kruskall-Wallis	0.368	na	na	na	na	na	na
Muttenz	2	K	Kruskall-Wallis	0.082	na	na	na	na	na	na
Muttenz	2	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.0	3.9	7.3
Muttenz	2	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.8	6.4	13.5
Muttenz	2	CC	Kruskall-Wallis	0.180	na	na	na	na	na	na
Bavois	0	K	Kruskall-Wallis	0.368	na	na	na	na	na	na
Bavois	0	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	a	b	7.4	6.0	38.3
Bavois	0	CC	Kruskall-Wallis + Dunn	0.030	a	b	a	15.1	2.0	16.0
Bavois	1	K	Kruskall-Wallis	0.180	na	na	na	na	na	na
Bavois	1	CC	Kruskall-Wallis + Dunn	0.005	ab	a	b	11.9	3.0	28.2
Bavois	2	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.015	ab	a	b	18.3	9.2	62.4
Cornaux	0	K	Kruskall-Wallis	0.075	na	na	na	na	na	na
Cornaux	0	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.009	a	b	b	1.1	6.6	20.9
Cornaux	1	K	Kruskall-Wallis	0.261	na	na	na	na	na	na
Cornaux	1	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.032	a	b	ab	1.8	15.4	4.9
Cornaux	2	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.018	a	ab	b	0.9	1.9	19.6
Cornaux	2	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.005	a	ab	b	1.5	14.7	31.2
Lullier	0	K	Kruskall-Wallis	na	na	na	na	na	na	na
Lullier	0	CSR	Kruskall-Wallis	0.954	na	na	na	na	na	na
Lullier	0	RR	Kruskall-Wallis	0.077	na	na	na	na	na	na
Lullier	0	SS	Kruskall-Wallis	0.939	na	na	na	na	na	na
Lullier	0	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	a	0.5	13.2	1.8
Lullier	0	CC	Kruskall-Wallis	na	na	na	na	na	na	na
Lullier	1	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	a	0.0	3.5	0.6
Lullier	1	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.002	a	b	a	0.6	9.7	1.1
Lullier	1	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.005	a	b	a	0.6	8.3	1.1
Lullier	1	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.010	a	b	a	2.4	7.9	1.2
Lullier	1	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.001	a	b	ab	0.0	16.2	1.6
Lullier	2	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.000	a	b	b	0.0	5.7	1.9
Lullier	2	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.001	a	b	a	0.3	15.9	2.1
Lullier	2	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.002	a	b	a	0.6	19.7	1.3
Lullier	2	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.002	a	b	ab	0.3	10.1	2.7
Lullier	2	TV2	Kruskall-Wallis + Dunn	0.001	a	b	ab	0.1	18.2	3.6
Lullier	3	K	Kruskall-Wallis + Dunn	0.002	a	b	b	0.4	14.1	7.6
Lullier	3	CSR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	0.0	8.5	7.0
Lullier	3	RR	Kruskall-Wallis + Dunn	0.001	a	b	ab	0.0	34.0	2.7
Lullier	3	SS	Kruskall-Wallis + Dunn	0.003	a	b	b	0.0	7.5	8.2

Anhang 10 A): Vorkommen & Häufigkeit der spontanen Arten auf den Versuchsstandorten.

Spontane Arten	Häufigkeit		
	in Situ	ex Situ Lullier	Total
<i>Agrostis capillaris</i> L.	5	0	5
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	1	0	1
<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.	1	0	1
<i>Alyssum alyssoides</i> (L.) L.	0	12	12
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	2	0	2
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	0	4	4
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) J. Presl & C. Presl	222	7	229
<i>Brassica napus</i> L.	14	0	14
<i>Bromus sterilis</i> L.	6	3	9
<i>Cardamine hirsuta</i> L.	11	23	34
<i>Carex hirta</i> L.	1	0	1
<i>Carpinus betulus</i> L.	2	0	2
<i>Catapodium rigidum</i> (L.) C. E. Hubb.	10	0	10
<i>Cerastium brachypetalum</i> Pers.	21	0	21
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	12	28	40
<i>Cerastium semidecandrum</i> L.	91	0	91
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	200	28	228
<i>Crepis pulchra</i> L.	5	6	11
<i>Crepis vesicaria</i> L.	7	0	7
<i>Crepis vesicaria</i> ssp <i>taraxacifolia</i>	6	0	6
<i>Dactylis glomerata</i> L.	20	3	23
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	0	5	5
<i>Draba muralis</i> L.	2	0	2
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	2	1	1
<i>Echium vulgare</i> L.	173	28	201
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	2	0	2
<i>Epilobium tetragonum</i> L.	17	0	17
<i>Eragrostis minor</i> Host	95	0	95
<i>Erigeron acris</i> L.	51	0	51
<i>Erigeron acris</i> L. subsp. <i>acris</i>	13	0	13
<i>Erigeron acris</i> subsp. <i>serotinus</i> (Weihe) Greuter	8	0	8
<i>Erophila verna</i> (L.) DC.	39	19	58
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	15	0	15
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	1	1	2
<i>Galeopsis tetrahit</i> L.	2	0	2
<i>Galium album</i> Mill.	148	0	148
<i>Geranium dissectum</i> L.	0	13	13
<i>Geranium robertianum</i> subsp. <i>purpureum</i> (Vill.) Nyman	287	1	288
<i>Holcus lanatus</i> L.	2	2	4
<i>Hordeum murinum</i> L.	1	0	1
<i>Hypericum maculatum</i> Crantz	2	0	2
<i>Hypericum perforatum</i> L.	12	7	19
<i>Hypochaeris radicata</i> L. spontané < 2021	45	5	50
<i>Knautia arvensis</i> L.	1	0	1
<i>Lapsana communis</i> L. subsp. <i>communis</i>	28	1	29
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	7	0	7
<i>Lepidium densiflorum</i> Schrad.	12	0	12
<i>Lepidium virginicum</i> L.	17	0	17
<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	1	1	2
<i>Medicago sativa</i> L.	8	15	23
<i>Melilotus albus</i> Medik.	72	0	72
<i>Minuartia hybrida</i> (Vill.) Schischk.	13	0	13
<i>Myosotis arvensis</i> Hill	0	6	6
<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.	0	1	1
<i>Orobanche caryophyllacea</i> Sm.	5	0	5
<i>Panicum capillare</i> L.	30	5	35
<i>Papaver dubium</i> L.	22	0	22
<i>Papaver rhoeas</i> L.	24	51	75
<i>Petrorhagia prolifera</i> (L.) P. W. Ball & Heywood	6	16	22
<i>Petrorhagia saxifraga</i> (L.) Link	0	27	27
<i>Picris hieracioides</i> L. spontané < 2021	19	36	55
<i>Pisum sativum</i> L. cf subsp. <i>sativum</i>	9	0	9
<i>Plantago major</i> L.	1	0	1
<i>Poa annua</i> L.	16	7	23
<i>Poa bulbosa</i> L.	30	0	30
<i>Polygonum aviculare</i> L.	1	1	2
<i>Polygonum mite</i> Schrank	2	0	2
<i>Portulaca oleracea</i> L.	0	4	4
<i>Reseda lutea</i> L.	5	0	5
<i>Rumex acetosa</i> L.	2	0	2
<i>Sagina apetala</i> Ard.	0	1	1
<i>Saponaria officinalis</i> L.	3	0	3
<i>Saxifraga tridactylites</i> L.	162	23	185
<i>Scabiosa lucida</i> Vill.	1	0	1
<i>Securigera varia</i> (L.) Lassen	3	0	3
<i>Senecio jacobaea</i> L.	98	0	98
<i>Senecio viscosus</i> L.	42	0	42
<i>Senecio vulgaris</i> L.	53	10	63
<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.	183	1	184
<i>Silene noctiflora</i> L.	1	0	1
<i>Silene pratensis</i> (Rafn) Godr.	1	0	1
<i>Sonchus asper</i> Hill	39	16	55
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	14	11	25
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	0	1	1
<i>Taraxacum officinale</i> aggr.	66	1	67
<i>Teucrium botrys</i> L.	8	0	8
<i>Tragopogon dubius</i> Scop.	2	0	2
<i>Tragopogon pratensis</i> L.	2	0	2
<i>Tragopogon pratensis</i> subsp. <i>orientalis</i> (L.) Čelak.	10	0	10
<i>Trifolium pratense</i> L.	4	0	4
<i>Tripleurospermum inodorum</i> (L.) Sch. Bip.	0	1	1
<i>Valerianella carinata</i> Loisel.	15	0	15
<i>Verbena officinalis</i> L.	2	0	2
<i>Veronica arvensis</i> L.	35	27	62
<i>Veronica persica</i> Poir.	0	14	14
<i>Vulpia ciliata</i> Dumort.	2	0	2

Anhang 10 B): Vorkommen & Häufigkeit der problematischen Arten auf den Versuchsstandorten.

Problematische spontane Arten	Häufigkeit			Problematische spontane Arten (Fortsetzung)	Häufigkeit		
	in Situ	ex Situ	Lullier Total		in Situ	ex Situ	Lullier Total
<i>Acer campestre</i>	0	1	1	<i>Ononis repens</i> L.	14	0	14
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.	18	0	18	<i>Pastinaca sativa</i> L. subsp. <i>sativa</i>	40	0	40
<i>Chenopodium album</i> L.	2	4	6	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.	1	0	1
<i>Cirsium eriophorum</i> (L.) Scop.	1	0	1	<i>Populus nigra</i> L.	3	0	3
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	6	0	6	<i>Populus tremula</i> L.	1	0	1
<i>Clematis vitalba</i> L.	8	0	8	<i>Potentilla reptans</i> L.	19	0	19
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	20	0	20	<i>Prunus spinosa</i> L.	1	0	1
<i>Cornus cf. sanguinea</i> L.	0	0	0	<i>Rubus caesius</i> L.	19	0	19
<i>Cornus sanguinea</i> L.	1	0	1	<i>Rubus fruticosus</i> aggr.	36	0	36
<i>Epilobium dodonaei</i> Vill.	28	0	28	<i>Senecio inaequidens</i> DC.	6	0	6
<i>Equisetum arvense</i> L.	10	0	10	<i>Urtica dioica</i> L.	1	0	1
<i>Equisetum hyemale</i> L. et <i>hybrides</i>	4	0	4	<i>Verbascum lychnitis</i> L.	1	0	1
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.	14	14	28	<i>Verbascum nigrum</i> L.	3	0	3
<i>Hedera helix</i> L.	3	0	3	<i>Verbascum thapsus</i> L.	9	0	9
<i>Lactuca serriola</i> L.	181	46	227	<i>Vicia sativa</i> L.	5	0	5
<i>Oenothera biennis</i> L.	44	0	44	<i>Vicia sativa</i> subsp. <i>nigra</i> (L.) Ehrh.	22	0	22

Anhang 11 (Teil 1): Statistischer Vergleich der Unterschiede bei der Deckung nach Mischung je nach Artenkategorien: angesät, spontan und problematisch nach Standort und Jahr (Le Landeron, Cousset und Lullier)

Ort	Jahr	Kategorie	Test	p_value	CC	CSR	KT	RR	SS	TV2
Le Landeron	0	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.040	na	ab	a	ab	ab	b
Le Landeron	0	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.954	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	0	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.393	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	1	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis	0.113	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	1	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.546	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	1	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.419	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	2	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.006	na	a	b	ab	a	a
Le Landeron	2	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.461	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	2	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.682	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	3	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.030	na	ab	a	ab	b	na
Le Landeron	3	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.976	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	3	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.573	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	4	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis	0.132	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	4	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.294	na	na	na	na	na	na
Le Landeron	4	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.199	na	na	na	na	na	na
Cousset	0	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.001	na	ab	a	a	a	b
Cousset	0	Spontane Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.005	na	a	b	ab	ab	b
Cousset	0	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.621	na	na	na	na	na	na
Cousset	1	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis	0.052	na	na	na	na	na	na
Cousset	1	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.846	na	na	na	na	na	na
Cousset	1	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.687	na	na	na	na	na	na
Cousset	2	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.001	na	a	b	a	a	a
Cousset	2	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.642	na	na	na	na	na	na
Cousset	2	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.793	na	na	na	na	na	na
Cousset	3	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis	0.070	na	na	na	na	na	na
Cousset	3	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.570	na	na	na	na	na	na
Cousset	3	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.521	na	na	na	na	na	na
Cousset	4	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis	0.091	na	na	na	na	na	na
Cousset	4	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.421	na	na	na	na	na	na
Cousset	4	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.663	na	na	na	na	na	na
Lullier	0	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.003	a	a	a	ab	a	b
Lullier	0	Spontane Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.014	a	ab	a	ab	ab	b
Lullier	0	Problematische Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.027	a	ab	ab	ab	ab	b
Lullier	1	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.005	na	ab	a	ab	ab	b
Lullier	1	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.774	na	na	na	na	na	na
Lullier	1	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.708	na	na	na	na	na	na
Lullier	2	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis + Dunn	0.016	na	a	b	ab	ab	a
Lullier	2	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.901	na	na	na	na	na	na
Lullier	2	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.625	na	na	na	na	na	na
Lullier	3	Gesäte Arten	Kruskal-Wallis	0.058	na	na	na	na	na	na
Lullier	3	Spontane Arten	Kruskal-Wallis	0.639	na	na	na	na	na	na
Lullier	3	Problematische Arten	Kruskal-Wallis	0.771	na	na	na	na	na	na

Anhang 11 (Teil 2): Statistischer Vergleich der Unterschiede bei der Deckung nach Mischung je nach Artenkategorien: angesät, spontan und problematisch nach Standort und Jahr. (Muttentz, Bavois und Cornaux)

Ort	Jahr	Kategorie	Test	p value	CC	CSR	KT	RR	SS	TV2
Muttentz	0	Gesäte Arten	Kruskall-Wallis	0.245	na	na	na	na	na	na
Muttentz	0	Spontane Arten	Kruskall-Wallis	0.513	na	na	na	na	na	na
Muttentz	0	Problematische Arten	Kruskall-Wallis	0.495	na	na	na	na	na	na
Muttentz	1	Gesäte Arten	Kruskall-Wallis + Dunn	0.010	ab	ab	a	ab	b	na
Muttentz	1	Spontane Arten	Kruskall-Wallis	0.337	na	na	na	na	na	na
Muttentz	1	Problematische Arten	Kruskall-Wallis	0.878	na	na	na	na	na	na
Muttentz	2	Gesäte Arten	Kruskall-Wallis + Dunn	0.006	ab	a	b	na	a	na
Muttentz	2	Spontane Arten	Kruskall-Wallis	0.068	na	na	na	na	na	na
Muttentz	2	Problematische Arten	Kruskall-Wallis	0.269	na	na	na	na	na	na
Bavois	0	Gesäte Arten	Kruskall-Wallis	0.368	na	na	na	na	na	na
Bavois	0	Spontane Arten	Kruskall-Wallis + Dunn	0.031	a	na	ab	na	na	b
Bavois	0	Problematische Arten	Kruskall-Wallis	0.075	na	na	na	na	na	na
Bavois	1	Gesäte Arten	Student/Wilcoxon	0.885	a	na	a	na	na	na
Bavois	1	Spontane Arten	Student/Wilcoxon	1.000	a	na	a	na	na	na
Bavois	1	Problematische Arten	Student/Wilcoxon	0.286	a	na	a	na	na	na
Bavois	2	Gesäte Arten	NA	NA	na	na	na	na	na	na
Bavois	2	Spontane Arten	NA	NA	na	na	na	na	na	na
Bavois	2	Problematische Arten	NA	NA	na	na	na	na	na	na
Cornaux	0	Gesäte Arten	Student/Wilcoxon	0.062	na	na	a	na	na	a
Cornaux	0	Spontane Arten	Student/Wilcoxon	0.253	na	na	a	na	na	a
Cornaux	0	Problematische Arten	Student/Wilcoxon	0.357	na	na	a	na	na	a
Cornaux	1	Gesäte Arten	Student/Wilcoxon	0.069	na	na	a	na	na	a
Cornaux	1	Spontane Arten	Student/Wilcoxon	0.914	na	na	a	na	na	a
Cornaux	1	Problematische Arten	Student/Wilcoxon	0.874	na	na	a	na	na	a
Cornaux	2	Gesäte Arten	Student/Wilcoxon	0.188	na	na	a	na	na	a
Cornaux	2	Spontane Arten	Student/Wilcoxon	0.352	na	na	a	na	na	a
Cornaux	2	Problematische Arten	Student/Wilcoxon	0.771	na	na	a	na	na	a

SCHLUSSBILD Übersichten aus Cousset

05.03.2019, Standortbegehung W-E



25.04.2019, Standorteinrichtung E-W



16.05.2023, Übersicht W-E



03.10.2023, Übersicht E-W



info flora SAMEN | SEMENCES



Otto
Hauenstein
Samen

