



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Neophytenprävention an Nationalstrassen

Prévention des néophytes le long des routes nationales

Prevention of neophytes on national roads

Berlana Hans Buser
Hans Buser (Projektleitung, Bericht, Empfehlungen)

nateco AG
Angela Klaiber (Feldarbeit)
Luisa Münter (Untersuchungsdesign)
Tobias Richter (Modellierung)

**Forschungsprojekt VSS 2018/229 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

August 2021

1706

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Neophytenprävention an Nationalstrassen

Prevention des néophytes le long des routes nationales

Prevention of neophytes on national roads

Berlana Hans Buser
Hans Buser

nateco AG
Angela Klaiber (Feldarbeit)
Luisa Münter (Untersuchungsdesign)
Tobias Richter (Modellierung)

**Forschungsprojekt VSS 2018/229 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**
August 2021

1706

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Hans Buser (Projektleitung, Bericht, Empfehlungen)

Mitglieder

Angela Klaiber (Feldarbeit)

Luisa Münter (Untersuchungsdesign)

Tobias Richter (Modellierung)

Federführende Fachkommission

Fachkommission 2: Projektierung

Begleitkommission

Präsidentin

Marguerite Trocmé

Mitglieder

Roger Beer

Erwin Egger

Laurence von Fellenberg

Claude Fischer

Kathrin Fischer

Karin Hilfiker

Stephan Karlen

Michael Nobis

Elisabeth Pannatier

Beat Städler

Stefan Suter

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	9
Résumé	13
Summary	17
1 Einführung	21
1.1 Ausgangslage.....	21
1.2 Strategie der Schweiz zu den invasiven Neophyten.....	21
1.3 Bisherige Ansätze	22
1.4 Beobachtungen der Unterhaltsdienste.....	22
1.5 Hypothesen	23
1.6 Ziele des Forschungsprojektes	23
1.7 Vorgehen.....	23
1.8 Qualitätssicherung	24
2 Methodik Feldarbeit	25
2.1 Untersuchungsdesign	25
2.1.1 Übersicht	25
2.1.2 Teststreckenabschnitte	25
2.1.3 Transekte	26
2.1.4 Stichprobenflächen	27
2.1.5 Erfassungen	28
2.1.6 Vorgehen.....	28
2.2 Erfasste Neophytenarten	29
2.3 Erfasste Parameter	29
2.3.1 Übersicht	29
2.3.2 Beschreibung der Parameter	30
2.3.3 Umgang mit Spezialfällen	31
2.3.4 Fotodokumentation	31
2.4 Detaillierte Liste der erfassten Parameter.....	32
3 Methodik Modellierung	33
3.1 Einleitung zur Methodik der Modellierung.....	33
3.2 Datenerfassung	33
3.2.1 Auswahl der zu untersuchenden Neophytenarten.....	34
3.2.2 Vegetationstypen	34
3.2.3 Modellvereinfachung und Gruppierung von Parametern	34
3.3 Vorgehen.....	37
3.3.1 Exploration der Daten	37
3.3.2 Datenauswertung	37
3.3.3 Evaluation Modellqualität	38
3.3.4 Validierung	39
3.3.5 Aggregation auf Stufe Transekt	40
4 Resultate	41
4.1 Einleitung.....	41
4.1.1 Generelles	41
4.1.2 Aufbau des vorliegenden Kapitels	41
4.1.3 Häufigkeit der Neophytenvorkommen.....	41
4.2 Modellierung.....	42
4.2.1 Explorative Statistik.....	42
4.2.2 Modellierung mit GLM	43
4.2.3 Modellierung mit GLMM	44
4.2.4 Validierung	46
4.3 <i>Senecio inaequidens</i> / Schmalblättriges Greiskraut	47

4.3.1	Vorkommen in den Vegetationstypen	47
4.3.2	Deckungsgrad	47
4.3.3	Modellierung mit GLM und GLMM	47
4.3.4	Zusammenfassung	48
4.4	<i>Erigeron annuus</i> / Einjähriges Berufskraut	50
4.4.1	Vorkommen in den Vegetationstypen	50
4.4.2	Deckungsgrad	50
4.4.3	Modellierung mit GLM und GLMM	51
4.4.4	Zusammenfassung	51
4.5	<i>Solidago canadensis</i> aggr. / Kanadische Goldruten	53
4.5.1	Vorkommen in den Vegetationstypen	53
4.5.2	Deckungsgrad	53
4.5.3	Modellierung mit GLM und GLMM	53
4.5.4	Zusammenfassung	54
4.6	<i>Rubus armeniacus</i> / Armenische Brombeere	55
4.6.1	Vorkommen in den Vegetationstypen	55
4.6.2	Deckungsgrad	55
4.6.3	Modellierung mit GLM und GLMM	56
4.6.4	Zusammenfassung	57
4.7	Vergleich der vier Arten	59
4.7.1	Vorkommen in den Vegetationstypen	59
4.7.2	Deckungsgrad der untersuchten Arten	60
4.7.3	Modellierung mit GLM und GLMM	60
4.7.4	Zusammenfassung	61
5	Überprüfung der Hypothesen	63
5.1	Hypothesen im Einzelnen	63
5.1.1	Hypothese 1: Vegetationstyp	63
5.1.2	Hypothese 2: Vegetationsschluss	63
5.1.3	Hypothese 3: Alter der Fläche	63
5.1.4	Hypothese 4: Maschineneinsatz erschwert	63
5.1.5	Hypothese 5: Entwässerungstyp	64
5.1.6	Hypothese 6: Umgebung	64
5.1.7	Hypothese 7: Bekämpfungsmassnahmen der Unterhaltsdienste	64
5.1.8	Hypothese 8: Aufbau des Bodens mit oder ohne Humus	64
5.2	Zusammenfassung	64
6	Diskussion	65
6.1	Feldarbeit	65
6.1.1	Jahreszeitlicher Einfluss	65
6.1.2	Beobachtungen bei der Felderfassung	65
6.1.3	Methodik der Erfassung	65
6.2	Modellierung	66
6.2.1	Generelles	66
6.2.2	Vergleich GLM und GLMM	66
6.3	Vergleich mit der Literatur	67
6.3.1	Bedeutung des humosen Oberbodens	67
6.3.2	Alter der Flächen	67
6.3.3	Abhängigkeit von der Umgebung	67
6.3.4	Einfluss des Fahrtwindes	67
6.4	Vergleich mit den Angaben bei Info Flora	68
6.4.1	<i>Senecio inaequidens</i> / Schmalblättriges Greiskraut	68
6.4.2	<i>Erigeron annuus</i> / Einjähriges Berufskraut	68
6.4.3	<i>Solidago canadensis</i> aggr. / Kanadische Goldruten	69
6.4.4	<i>Rubus armeniacus</i> / Armenische Brombeere	69
6.4.5	Fazit	69
6.5	Überlegungen zu den Empfehlungen	70
6.6	Ausblick	70

7	Empfehlungen für präventive Massnahmen	71
7.1	Vorgehen	71
7.2	Übersicht über die Empfehlungen	72
7.2.1	Gestaltung	72
7.2.2	Unterhalt	73
7.3	Empfehlungen zur Projektierung	73
7.3.1	Empfehlung 1: Neophyten vor Baubeginn erfassen	73
7.3.2	Empfehlung 2: Prioritäten setzen und Massnahmen optimieren	73
7.3.3	Empfehlung 3: Magerwiesen und Ruderalflächen primär in den Biodiversitätsschwerpunkten anlegen	74
7.3.4	Empfehlung 4: Unterhaltsdienste besser einbinden	74
7.4	Empfehlungen bezüglich Ausstattungselementen	75
7.4.1	Empfehlung 5: Bankett aufwuchshemmend gestalten	75
7.4.2	Empfehlung 6: Gestaltung Zaun Variante I: Zaunfuss ausmähbar gestalten	77
7.4.3	Empfehlung 7: Gestaltung Zaun Variante II: Zaun in Hecke integrieren	78
7.4.4	Empfehlung 8: Optimalen Unterhalt im Bereich der Leitplanken ermöglichen	79
7.4.5	Empfehlung 9: Optimalen Unterhalt im Bereich von Ausstattungselementen ermöglichen	80
7.5	Empfehlungen zur Ausführung	81
7.5.1	Empfehlung 10: Zwischenlager bewirtschaften	81
7.5.2	Empfehlung 11: Vorgaben zum Begrünungszeitpunkt einhalten	81
7.5.3	Empfehlung 12: Intensive Unterhaltszone schnell und dicht begrünen	81
7.5.4	Empfehlung 13: Unterhalt für die Garantiezeit klar regeln und sicherstellen	82
7.6	Empfehlungen für die Umsetzung	82
7.6.1	Empfehlung 14: Empfehlungen in die Projektierungsgrundlagen einfliessen lassen	82
7.6.2	Empfehlung 15: Lebenszyklus berücksichtigen	83
7.7	Empfehlungen für den Unterhalt	84
7.7.1	Empfehlung 16: Konsistente Neophytenstrategie erarbeiten	84
7.7.2	Empfehlung 17: Regionale Koordination sicherstellen	84
7.7.3	Empfehlung 18: Bauliche Massnahmen zur Umgestaltung prüfen	84
7.8	Bewertung der Empfehlungen	85
	Anhänge	87
	Glossar	97
	Literaturverzeichnis	99
	Projektabschluss	103

Zusammenfassung

Ausgangslage

Invasive Neophyten können eine Gefahr für Mensch und Tier darstellen, weil gewisse Arten stark allergen oder giftig für Nutztiere sind. Aufgrund ihres grossen Ausbreitungspotenzials verdrängen sie weniger konkurrenzfähige einheimische Arten und bedrohen somit die lokale Biodiversität. In landwirtschaftlichen oder forstwirtschaftlichen Kulturen führen sie zu Verunkrautungen, die Ertragsausfälle oder Mehraufwände verursachen. Sie können auch Kunstbauten gefährden oder Hangstabilitäten in Frage stellen und verursachen bei der Bekämpfung an den schweizerischen Nationalstrassen schon heute Mehrkosten von mehreren Millionen CHF pro Jahr. Diese sind über die letzten Jahre stetig gestiegen und es ist zu erwarten, dass sie weiterhin steigen werden. Wegen des hohen ökologischen und wirtschaftlichen Schadens stehen in der Schweiz 41 invasive Neophyten auf der Schwarzen Liste von Info Flora (nationales Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora).

Die Verkehrswege sind ein wichtiges Element unserer Landschaft. Mit einer Gesamtlänge von beinahe 20'000 km Strassen (davon Nationalstrassen: 2'254 km) und 5'200 km Bahntrasse sind sie wichtig für die Ausbreitung von invasiven Neophyten.

Das Projekt «Neophytenprävention an Nationalstrassen (VSS 2018/229)» untersucht den Einfluss der Gestaltung sowie der Umgebung auf das Vorkommen von invasiven Neophyten an Nationalstrassen. Ziel des Projektes ist es, Massnahmen zu empfehlen, die das Aufkommen und die Ausbreitung von invasiven Neophyten für die Zukunft verhindern oder zumindest stark einschränken können.

Methodik

Basis für die Untersuchung bildet eine Erfassung der Vorkommen von invasiven Neophyten entlang der Nationalstrassen und der Standortparameter, in der diese zu finden sind. Dazu wurden auf 20 zufällig ausgewählten Streckenabschnitten von 5 km Länge alle 200 m ein Transekt aufgenommen. Die Transekte wurden unterteilt in einheitlich gestaltete Stichprobenflächen. Zu jeder Stichprobenfläche wurden ausgewählte Parameter und die vorkommenden Neophytenarten der Schwarzen Liste erfasst. Insgesamt wurden 2264 Stichprobenflächen mit je rund 30 Parametern im Feld erhoben. Dazu gehören Angaben zum vorhandenen Vegetationstyp, zu Hindernissen für das Ausmähen, zum Alter der Fläche und zur Umgebung. Bezüglich der vorhandenen Neophyten wurden die Art sowie deren Deckung erfasst.

Die erfassten Daten wurden mit statistischen Modellierungen – GLM (generalized linear model) und mit GLMM (generalized linear mixed model) – ausgewertet.

Resultate

Bei den Feldaufnahmen wurden in den 2264 Erfassungen insgesamt 926 Vorkommen von invasiven Neophytenarten aus 13 Arten erfasst. Für die Bearbeitung im Projekt wurden die vier häufigsten Arten ausgewählt: *Senecio inaequidens* – Schmalblättriges Greiskraut (459 Erfassungen), *Erigeron annuus* – Einjähriges Berufskraut (155 Erfassungen), *Solidago canadensis* aggr. – Kanadische Goldruten (97 Erfassungen) und *Rubus armeniacus* – Armenische Brombeere (124 Erfassungen). Während *Senecio* in jeder fünften Erfassung vorkam (20.3%) sind die anderen drei Arten in rund jeder zwanzigsten Erfassung vorhanden.

Tab. 1 Vorkommen der erfassten Neophyten in sämtlichen 2264 Stichprobenflächen. Die grau hinterlegten Arten wurden für die Modellierung ausgewählt.

Art		Anzahl Erfassungen	Anteil an allen Erfassungen	
Arten der Schwarzen Liste	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Aufrechte Ambrosie	1	0.0%
	<i>Artemisia verlotiorum</i>	Verlotscher Beifuss	8	0.4%
	<i>Buddleja davidii</i>	Schmetterlingsstrauch	15	0.7%
	<i>Erigeron annuus</i>	Einjähriges Berufskraut	155	6.8%
	<i>Rhus typhina</i>	Essigbaum	2	0.1%
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Falsche Akazie	13	0.6%
	<i>Rubus armeniacus</i>	Armenische Brombeere	124	5.5%
	<i>Senecio inaequidens</i>	Schmalblättriges Greiskraut	459	20.3%
	<i>Solidago canadensis</i> aggr.	Kanadische Goldruten (Gruppe)	97	4.3%
	davon <i>Solidago canadensis</i>	Kanadische Goldrute	(30)	(1.3%)
davon <i>Solidago gigantea</i>	Spätblühende Goldrute	(67)	(3.0%)	
weitere Arten	<i>Conyza canadensis</i>	Kanadisches Berufskraut	49	2.2%
	Andere invasive Neophyten		3	0.1%
Total		926	40.9%	

Bezüglich dem Vorkommen in den verschiedenen Vegetationstypen zeigen sich klare Unterschiede. *Senecio* ist praktisch überall vertreten, selbst auf befestigten Flächen, fehlt aber in Gehölzen. *Erigeron* konzentriert sich vor allem auf eher geschlossene Wiesentypen, *Solidago* findet sich in Wiesen und in Säumen, *Rubus* in Gehölzen und angrenzenden Bereichen.

Die Resultate aus den Modellierungen zeigen, dass die vier Arten sehr unterschiedliche Standorte bevorzugen. Die nachfolgende Zusammenstellung illustriert und beschreibt die Ergebnisse der Modellierung.



Senecio

- Kommt in allen Vegetationstypen ohne Gehölze vor
- Fehlt in Gehölzen
- Findet sich selbst auf befestigten Flächen häufig
- Konzentriert sich im Bereich von Hindernissen und im Bankett
- Bevorzugt eher lockere Bestände
- Tritt häufig im Intensivstreifen auf
- Tritt bei gefassten Entwässerungen häufiger auf als bei Entwässerungen über die Schulter



Erigeron

- Findet sich gehäuft in Rasen, Wiesen und Magerwiesen
- Kommt in Gehölzen nicht vor
- Kommt kaum vor in Flächen mit Hindernissen



Solidago

- Findet sich gehäuft im Saum (Übergangsbereich zwischen Wiesen und Gehölzen)
- Kommt in Gehölzen und Ruderalflächen kaum vor
- Findet sich eher in älteren Grünräumen



Rubus

- Ist die einzige der untersuchten vier Arten mit einer klaren Bevorzugung von Gehölzen
- Findet sich gehäuft im Gehölz und im Saum (Übergangsbereich zu Gehölzen)
- Kommt kaum vor in Rasen, Wiesen, Magerwiesen und Ruderalflächen
- Findet sich eher in älteren Gehölzen
- Kommt im Bereich von Hindernissen kaum vor

Abb. 1 Gegenüberstellung der typischen Eigenschaften der vier untersuchten Neophytenarten.

Empfehlungen

Auf der Grundlage der Resultate aus der Verteilung der vier Neophytenarten in den Vegetationstypen und aus den Modellierungen sowie Interviews mit verschiedenen Fachleuten aus Projektierung, Bauleitung, Unterhalt und Umwelt wurden 18 Empfehlungen für die Prävention der untersuchten invasiven Neophyten ausgearbeitet und kurz erläutert.

Empfehlungen für die Gestaltung:

- 1 Neophyten vor Baubeginn erfassen
- 2 Prioritäten setzen und Massnahmen optimieren
- 3 Magerwiesen und Ruderalflächen primär in Biodiversitätsschwerpunkten anlegen
- 4 Unterhaltsdienste besser einbinden
- 5 Bankett aufwuchshemmend gestalten
- 6 Gestaltung Zaun Variante I: Zaunfuss ausmähbar gestalten
- 7 Gestaltung Zaun Variante II: Zaun in Hecke integrieren
- 8 Optimalen Unterhalt im Bereich der Leitplanken ermöglichen
- 9 Optimalen Unterhalt im Bereich von Ausstattungselementen ermöglichen
- 10 Zwischenlager bewirtschaften
- 11 Vorgaben zum Begrünungszeitpunkt einhalten
- 12 Intensive Unterhaltszone schnell und dicht begrünen
- 13 Unterhalt für die Garantiezeit klar regeln und sicherstellen
- 14 Empfehlungen in die Projektierungsgrundlagen einfliessen lassen
- 15 Lebenszyklus berücksichtigen

Empfehlungen für den Unterhalt:

- 16 Konsistente Neophytenstrategie erarbeiten
- 17 Regionale Koordination sicherstellen
- 18 Bauliche Massnahmen zur Umgestaltung prüfen

Die Forschungsstelle geht davon aus, dass die Umsetzung der Empfehlungen mittel- bis langfristig zu einer Reduktion der Vorkommen und zu einer vereinfachten Bekämpfung der invasiven Neophyten führen wird. Damit verbunden ist eine erhebliche Reduktion des Aufwandes im Unterhalt.

Résumé

Situation initiale

Les néophytes envahissantes peuvent constituer une menace pour les humains et les animaux, car certaines espèces sont hautement allergènes ou toxiques pour le bétail. En raison de leur grand potentiel de dispersion, elles chassent les espèces indigènes moins compétitives et menacent ainsi la biodiversité locale. Dans les cultures agricoles ou sylvicoles, elles entraînent la présence de mauvaises herbes qui provoquent des pertes de rendement ou des dépenses supplémentaires. Ils peuvent déstabiliser des ouvrages d'art ou remettre en cause la stabilité des pentes et entraînent déjà des coûts supplémentaires pour les combattre le long des routes nationales suisses de plusieurs millions de francs par an. Ces coûts ont augmenté régulièrement au cours des dernières années et devraient continuer à augmenter. En raison des dommages écologiques et économiques élevés, 41 néophytes envahissantes figurent sur la liste noire d'Info Flora (Centre national de données et d'informations sur la flore de Suisse).

Les voies de circulation sont un élément influant de notre paysage. Avec une longueur totale de près de 20'000 km (dont 2'254 km de routes nationales) et 5'200 km de lignes de chemin de fer, elles sont importantes pour la dispersion des néophytes envahissantes.

Le projet « prévention des néophytes le long des routes nationales (VSS 2018/229) » étudie l'influence de l'aménagement ainsi que des alentours sur la présence de néophytes envahissantes le long des routes nationales. L'objectif du projet est de recommander des mesures susceptibles d'empêcher ou du moins de limiter l'apparition et la dispersion de néophytes envahissantes à l'avenir.

Méthodes

L'étude se base sur un relevé des occurrences des néophytes envahissantes le long des routes nationales et des facteurs environnementaux. À cette fin, un transect a été relevé tous les 200 m sur 20 tronçons de route de 5 km de long choisis au hasard. Les transects ont été divisés en surfaces d'échantillonnage uniformes. Les facteurs environnementaux et les espèces de néophytes présentes sur la liste noire ont été relevés pour chaque échantillon. Au total, 2264 observations, comportant chacune environ 30 paramètres, ont été saisi sur le terrain. Les paramètres enregistrés étaient des informations sur le type de végétation présent, des obstacles à la fauche, l'âge de la surface ainsi que de la couverture du sol des alentours. En ce qui concerne les néophytes, l'espèce ainsi que leur degré de recouvrement ont été saisi.

Les données levées ont été analysées à l'aide de modèles statistiques - GLM (modèles linéaires généralisés) et GLMM (modèles linéaires généralisés à effets mixtes).

Résultats

Un total de 926 occurrences d'espèces de néophytes envahissantes et 13 espèces différentes ont été observé. Les quatre espèces les plus fréquents ont été sélectionnées pour être analysé dans le cadre du projet : *Senecio inaequidens* - séneçon Sud-Africain (459 observations), *Erigeron annuus* - vergerette annuelle (155 observations), *Solidago canadensis* aggr. - Solidage du Canada (97 observations) et *Rubus armeniacus* - Ronce d'Arménie (124 observations). Alors que *Senecio* était présent dans une observation sur cinq (20,3 %), les trois autres espèces étaient présentes dans environ une observation sur vingt.

Tab. 2 Nombre de néophytes présent dans les 2264 observations. Les espèces surlignées en gris ont été sélectionnées pour la modélisation.

Espèce		nb d'observation		% de toutes les observations
Espèces de la "Liste noire"	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Ambrosie à feuilles d'armoise	1	0.0%
	<i>Artemisia verlotiorum</i>	Armoise des frères Verlot	8	0.4%
	<i>Buddleja davidii</i>	Buddleia de David	15	0.7%
	<i>Erigeron annuus</i>	Vergerette annuelle	155	6.8%
	<i>Rhus typhina</i>	Sumac	2	0.1%
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinier	13	0.6%
	<i>Rubus armeniacus</i>	Ronce d'Arménie	124	5.5%
	<i>Senecio inaequidens</i>	Séneçon sud-africain	459	20.3%
	<i>Solidago canadensis</i> aggr.	Solidage du Canada (groupe)	97	4.3%
	davon <i>Solidago canadensis</i>	Solidage du Canada	(30)	(1.3%)
	davon <i>Solidago gigantea</i>	Solidage géant	(67)	(3.0%)
Autres espèces	<i>Conyza canadensis</i>	Vergerette du Canada	49	2.2%
	autres néophytes invasives		3	0.1%
Total			926	40.9%

La présence des néophytes varie entre les différents types de végétation. *Senecio* se retrouve pratiquement partout, même sur les surfaces revêtues, mais est absent des boisements. *Erigeron* est principalement répandue dans de prairies denses, *Solidago* se trouve dans les prairies et leurs marges et *Rubus* dans les bois et les zones adjacentes.

Les résultats de la modélisation montrent que les quatre espèces préfèrent des sites très différents. La récapitulation suivante illustre et décrit les résultats de la modélisation.



Senecio

- Présente dans tous les types de végétation, mais est absente des boisements
- Fréquent même dans les zones pavées
- Se concentre autour des obstacles et dans les accotements
- Préfère la végétation moins dense
- Se retrouve souvent dans la zone d'entretien intensif
- Se retrouve plus fréquemment dans les évacuations des eaux captées que dans les évacuations des eaux par les bas-côtés



Erigeron

- Se retrouve en grand nombre dans les pelouses, les prés et les zones rudérales
- Est absent des boisements
- Est très rare dans les zones avec des obstacles



Solidago

- Se retrouve fréquemment dans les bords de boisements
- Se retrouve rarement dans les bois et les zones rudérales
- Préfère les espaces verts plus anciens



Rubus

- Est la seule des quatre espèces étudiées à avoir une nette préférence pour les surfaces boisées
- Se retrouve fréquemment dans les zones boisées et en bords de boisements
- On ne les trouve pratiquement jamais dans les pelouses, les prés et les zones rudérales
- Plus susceptible d'être trouvé dans les zones boisées anciennes
- On ne les trouve pratiquement jamais à proximité d'obstacles

Abb. 2 Comparaison des caractéristiques typiques des quatre espèces de néophytes étudiées.

Recommandations

Sur la base des résultats de la distribution des quatre espèces dans les types de végétation et de la modélisation ainsi que des entretiens avec différents experts de la planification, de la direction des travaux, de l'entretien et de l'environnement, 18 recommandations pour la prévention des néophytes envahissantes ont été élaborées.

Recommandations pour l'aménagement :

- 1 Faire un relevé des néophytes avant le début de la construction
- 2 Définir les priorités et optimiser les mesures
- 3 Établir des prairies maigres et des zones rudérales principalement dans les zones prioritaires pour la biodiversité
- 4 Meilleure intégration des services d'entretien
- 5 Concevoir les accotements pour inhiber la croissance
- 6 Conception clôture variante I : concevoir le pied de la clôture pour qu'il puisse être fauché
- 7 Conception clôture variante II : intégrer la clôture dans la haie
- 8 Permettre un entretien optimal dans la zone de la glissière de sécurité
- 9 Permettre un entretien optimal dans la zone des éléments d'équipement
- 10 Contrôler les dépôts des matériaux terreux temporaire
- 11 Respecter les spécifications relatives à la période de verdissement
- 12 Verdissement rapide et dense de la zone d'entretien intensif
- 13 Assurer la maintenance pendant la période de garantie
- 14 Inclure les recommandations dans la base de planification du projet
- 15 Considérer le cycle de vie

Recommandations pour l'entretien :

- 16 Développer une stratégie de lutte contre les néophytes cohérente
- 17 Assurer une coordination régionale
- 18 Examiner les mesures de construction en vue d'un réaménagement

Le Centre de recherche suppose que la mise en œuvre des recommandations conduira à une réduction de l'occurrence des néophytes envahissantes et à une lutte facilitée à moyen et long terme. Cela devrait conduire à une réduction considérable des coûts de maintenance.

Summary

Initial situation

Invasive neophytes can pose a threat to humans and animals given that certain neophyte species are highly allergenic or toxic to livestock. Due to their large dispersal potential, they displace less competitive native plant species and thus threaten the local biodiversity. In agriculture or forestry, weed infestations can cause yield losses or additional expenses. They can also endanger engineered infrastructure or pose a threat to slope stability which in and of itself accounts for several million CHF of additional costs per year to control and management them along Swiss national roads. These costs have increased steadily over the last few years and are expected to continue to rise. Because of the significant negative ecological and economic impacts, 41 invasive neophytes in Switzerland have been put on the blacklist of Info Flora (national data and information center of the Swiss flora).

Roadway infrastructure is a prominent element in our landscape. Given that the total length of all roadways in Switzerland is 20,000 km (of which 2,254 km national roads) and 5,200 km of railroad lines, they are important for the spread of invasive neophytes.

The project “Neophyte Prevention on National Roads (VSS 2018/229)” investigates the influence of design as well as the environment on the occurrence of invasive neophytes along national roads. The aim of the project is to recommend measures that can prevent or at least strongly limit the occurrence and spread of invasive neophytes in the future.

Methodology

The basis for the study is an assessment of the occurrence of invasive neophytes along national roads and the site parameters of the environment in which they are found. In order to assess this, transects were recorded every 200 m on 20 randomly selected stretches of 5 km of roads. The transects were divided into uniformly designed sample plots. The parameters and blacklisted neophyte species present were recorded for each sample. A total of 2264 observations of neophytes, each with approximately 30 site parameters, were collected in the field. Site parameters recorded included information on vegetation type present, obstacles to mowing, age of the sample plot, and the surrounding area. Regarding the neophytes present, the species as well as their ground cover were recorded.

The collected data were analyzed using statistical modeling - GLM (generalized linear model) and with GLMM (generalized linear mixed model).

Results

During the field surveys, a total of 926 occurrences of invasive neophyte species from 13 species were recorded in a total of 2264 observations. The four most common neophyte species were selected for further analysis in the project: *Senecio inaequidens* – South African ragwort (459 observations), *Erigeron annuus* - annual fleabane (155 observations), *Solidago canadensis* aggr. - Canadian goldenrod (97 observations), and *Rubus armeniacus* - Armenian blackberry (124 observations). While *Senecio* occurred in every fifth record (20.3%), the other three species are present in about every twentieth record.

Tab. 3 Occurrence of the recorded neophytes in all 2264 observations. The species highlighted in gray were selected for modeling.

species			number of observations	% of all observations
species from the "Black List"	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	common ragweed	1	0.0%
	<i>Artemisia verlotiorum</i>	Chinese mugwort	8	0.4%
	<i>Buddleja davidii</i>	summer lilac	15	0.7%
	<i>Erigeron annuus</i>	annual fleabane	155	6.8%
	<i>Rhus typhina</i>	staghorn sumac	2	0.1%
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	black locust	13	0.6%
	<i>Rubus armeniacus</i>	Armenian blackberry	124	5.5%
	<i>Senecio inaequidens</i>	South African ragwort	459	20.3%
	<i>Solidago canadensis</i> aggr.	Canadian goldenrod (group)	97	4.3%
	davon <i>Solidago canadensis</i>	Canadian goldenrod	(30)	(1.3%)
	davon <i>Solidago gigantea</i>	tall goldenrod	(67)	(3.0%)
other species	<i>Conyza canadensis</i>	Canadian horseweed	49	2.2%
	other invasive neophytes		3	0.1%
total			926	40.9%

Regarding the occurrence in the vegetation types, there are clear differences. *Senecio* is present practically everywhere, even on paved surfaces, but is absent in woody vegetation. *Erigeron* is mainly concentrated in more dense meadow types, *Solidago* is found in meadows and along the road shoulder, *Rubus* in wooded areas and adjacent areas.

The results from the modeling show that the four species prefer very different sites. The following compilation illustrates and describes the modeling results.



Senecio

- Occurs in all vegetation types, but is absent in woody plants
- Found frequently even in paved areas
- Concentrates around obstructions and on banks
- Prefers sites with lower vegetation cover
- Occurs frequently in intensively mowed areas adjacent to the road shoulder
- Occurs more frequently in areas where the catchment drainage rather than in over-the-road shoulder drainages



Erigeron

- Found abundantly in lawns, fertilized meadows and low-nutrient meadows
- Does not occur in wooded areas
- Rarely found in areas with obstacles



Solidago

- Found frequently in clumps in transition areas (e.g., between meadows and wooded areas)
- Hardly ever found in wooded and ruderal areas
- Is more likely to be found in older green spaces



Rubus

- Is the only one of the four species studied with a clear preference for wooded areas
- Is found frequently in woody areas and in the fringe (transition area to woody areas)
- Hardly occurs in lawns, meadows, rough pastures and ruderal areas
- Is more likely to be found in older wooded areas
- Hardly ever found in the area with obstacles

Abb. 3 Comparison of the typical characteristics of the four investigated neophyte species.

Recommendations

Based on the results from the distribution of the four neophyte species in the vegetation types and from the modeling as well as interviews with different experts from the areas of project planning, construction management, maintenance and environment, 18 recommendations for the prevention of the investigated invasive neophytes were defined and developed.

Recommendations for design:

- 1 Record neophytes before construction start
- 2 Set priorities and optimize measures
- 3 Establish meadows and ruderal areas primarily in biodiversity hotspots.
- 4 Better integrate maintenance services
- 5 Design the road shoulder to prevent vegetation growth
- 6 Fence design variant I: Design fence base allow for mowing
- 7 Fence design variant II: Integrate fence into hedge
- 8 Enable optimal maintenance around guard rails
- 9 Enable optimum maintenance around infrastructure elements
- 10 Manage temporary storage
- 11 Adhere to specifications for revegetation timing
- 12 Ensure quick and dense establishment of vegetation cover in the intensive maintenance zone
- 13 Clearly regulate and ensure maintenance for the guarantee period
- 14 Incorporate recommendations into the project planning
- 15 Consider a life cycle perspective

Recommendations for maintenance:

- 16 Develop consistent neophyte prevention strategy
- 17 Ensure regional coordination
- 18 Examine structural measures for redesign

The research unit assumes that the implementation of the recommendations will lead to a reduction of the occurrence and more efficient control of the invasive neophytes in the medium to long term. This is associated with a considerable reduction in maintenance costs.

1 Einführung

Anmerkung: Im ganzen Text werden folgend verkürzte Begriffe verwendet:

- Neophyt = invasiver Neophyt
- **Senecio** = *Senecio inaequidens*
- **Erigeron** = *Erigeron annuus*
- **Solidago** = *Solidago canadensis* aggr. (*Solidago canadensis* und *Solidago gigantea*)
- **Rubus** = *Rubus armeniacus*

1.1 Ausgangslage

Invasive Neophyten können eine Gefahr für Mensch und Tier darstellen, weil gewisse Arten stark allergen (z.B. *Ambrosia artemisiifolia* (Aufrechte Ambrosie) oder giftig für das Vieh sind (z.B. *Senecio inaequidens* (Schmalblättriges Greiskraut)). Aufgrund ihres starken Ausbreitungspotenzials verdrängen sie weniger konkurrenzfähige einheimische Arten und bedrohen somit die lokale Biodiversität. In landwirtschaftlichen oder forstwirtschaftlichen Kulturen führen sie zu Verunkrautungen, die Ertragsausfälle oder Mehraufwände verursachen. Sie können auch Kunstbauten gefährden oder Hangstabilitäten in Frage stellen und verursachen bei der Bekämpfung an Nationalstrassen heute jährliche Mehrkosten von mehreren Millionen Franken. Invasive Neophyten wurden in einer Risikobeurteilung durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) bewertet. Demnach ist alle rund 50 Jahre mit einem Ereignis zu rechnen, das einen Schaden von mind. 1 Milliarde Franken verursacht (BABS 2015). Wegen des hohen ökologischen und wirtschaftlichen Schadens stehen aktuell 41 solcher Problempflanzen auf der Schwarzen Liste von Info Flora (nationales Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora).

Die Verkehrswege sind ein wichtiges Element unserer Landschaft. Mit einer Gesamtlänge von beinahe 20'000 km Kantons- und Nationalstrassen (davon Nationalstrassen: 2'254 km) und 5'200 km Bahntrasse, sind sie ein wichtiges Vernetzungselement. Als räumlich zusammenhängende Flächen bilden Strassen- und Bahnböschungen biologische Korridore für Tiere und Pflanzen. Vielerorts besitzen sie einen naturschützerischen Wert als Lebensräume in einer ansonsten intensiv genutzten Kulturlandschaft. Sie beeinflussen damit die ökologische Infrastruktur der Schweiz. Das zunehmende Vorkommen von Neophyten entlang von Verkehrswegen stellt jedoch eine grosse Herausforderung für diese naturnahen Elemente dar.

1.2 Strategie der Schweiz zu den invasiven Neophyten

Die «Strategie der Schweiz zu invasiven gebietsfremden Arten» vom 18. Mai 2016 formuliert als übergeordnetes strategisches Ziel, dass die Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten eingedämmt und deren Neueinbringung verhindert wird. Dieses übergeordnete Ziel wird mit detaillierten Zielen zu Grundlagen, Prävention und Bekämpfung sowie mit zugehörigen Massnahmen konkretisiert. Insbesondere sind die Einbringungs- und Ausbreitungswege der invasiven Arten zu identifizieren und deren Ausbreitung zu verhindern (Ziele 1 und 2). Bei den Massnahmen sollen unter anderem anwendungsorientierte Forschungsprojekte gefördert werden. Zudem sollen Unterhaltsdienste für Bahn, Strassen und Gewässer angehalten werden, die Ansiedlung und Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten zu verhindern (Massnahmen 1-2.4 und 2-2.6).

1.3 Bisherige Ansätze

Zur Problematik von invasiven Neophyten gibt es zahlreiche Untersuchungen und Publikationen. Diese sind etwa auf den Homepages des Cercle Exotique (CE, www.cercleexotique.ch), bei Info Flora (www.infoflora.ch) oder bei diversen Kantonen (z.B. Baudirektion ZH) festgehalten. Die wichtigsten Publikationen auf diesen offiziellen Seiten sind:

- Zusammenfassung der gesetzlichen Grundlagen
- Schwarze Liste und Watch List der invasiven Neophyten der Schweiz
- Infoblätter zu jeder einzelnen invasiven Neophytenart mit Merkmalen, Vermehrungsbiologie, Verbreitung in der Schweiz, Vorbeugung und Bekämpfung sowie Informationsstellen

In den oben erwähnten Publikationen und in der Literatur finden sich heute drei Gruppen von Ansätzen zur Eindämmung von invasiven Neophyten:

- **Information und Sensibilisierung:** Mit Informationen zu den Merkmalen und Eigenschaften sollen die verschiedenen invasiven Neophyten klar erkannt werden. Für die Behörden und die Bevölkerung werden zudem Empfehlungen abgegeben, keine invasiven Neophyten einzusetzen und bei Vorkommen diese zu bekämpfen.
- **Ausbreitung:** Mit verschiedenen Ansätzen zur Erfassung soll eine möglichst lückenlose Übersicht über die Vorkommen der verschiedenen invasiven Neophyten geschaffen werden.
- **Bekämpfung:** Ein Grossteil der Empfehlungen bezieht sich auf Informationen zur Bekämpfung von Vorkommen.

Für die Prävention wären neben den oben aufgeführten Ansätzen aber konkrete Empfehlungen und Richtlinien wichtig, wie das Aufkommen von invasiven Neophyten grundsätzlich gehemmt oder gar verhindert werden könnte. Dies gilt insbesondere für Verkehrswege, wo in der Regel neue Lebensräume geschaffen werden und ist besonders wichtig, da sie wichtige Ausbreitungsachsen für invasive Neophyten sind.

1.4 Beobachtungen der Unterhaltsdienste

Von den Unterhaltsdiensten wird immer wieder festgehalten, dass sie grossen Aufwand betreiben, um die Problematik in den Griff zu bekommen. Dies stellt jedoch eine zeitaufwändige und frustrierende Arbeit dar, da immer wieder Samen zufliegen und neue Bestände aufbauen. Die zur Verfügung stehenden Mittel sind jedenfalls nicht ausreichend für eine konsequente Bekämpfung.

Die Unterhaltsdienste nennen insbesondere folgende Faktoren, die das Aufkommen von Neophyten begünstigen oder deren Bekämpfung erschweren (mündliche Mitteilungen):

- Im Siedlungsgebiet ist das Aufkommen grösser als im Landwirtschaftsgebiet / im Wald. Dort werden immer wieder neue Samen eingetragen.
- Eine Entwässerung über die Schulter schwemmt neue Samen ein.
- Unsauberes Arbeiten auf Baustellen bringt Neophyten in die Böschungen ein.
- Zu spät angesäte offene Flächen auf Baustellen erleichtern die Besiedlung durch Neophyten.
- Viele Transporte von Feinmaterial und lokale Windkanäle verbreiten Samen.
- Die Möglichkeiten des Unterhalts zur konsequenten Bekämpfung sind vom Aufwand her eingeschränkt. Auf Strecken mit viel Befall ist die Bekämpfung daher schwierig.
- Die Gestaltung erschwert oder verunmöglicht einen Maschineneinsatz.

1.5 Hypothesen

Aus den Beobachtungen der Unterhaltsdienste und einer Auswertung der Literatur wurden folgende Hypothesen abgeleitet, die im Rahmen des Projektes überprüft wurden:

- Standortfaktoren wie Exposition, Vegetationstyp (Gehölz – nicht Gehölz) sind wichtige Lebensraumbedingungen, die bei der Projektierung zu berücksichtigen sind.
- Verletzungen der Vegetationsnarbe, vor allem durch den Unterhalt verursacht, begünstigen das Aufkommen von invasiven Neophyten.
- Das Alter einer Fläche beeinflusst das Vorkommen von invasiven Neophyten.
- Dort wo mit Maschinen nicht sauber ausgemäht werden kann, kommen Neophyten bevorzugt vor (aufgrund von Hindernissen wie Zaun, Leitplanke, Kanten, Ritzen, Einbauten, usw.).
- Die Entwässerung über die Schulter ist ein wichtiger Faktor für das Vorkommen von Neophyten, da an diesen Stellen Feinmaterial angesammelt wird und Samen eingetragen werden.
- Der Einflug von Samen aus der Nachbarschaft, insbesondere in Siedlungsgebieten, begünstigt das Aufkommen von invasiven Neophyten.
- Die Bekämpfungsmassnahmen der Unterhaltsdienste beeinflussen das Vorkommen von invasiven Neophyten.
- Der Aufbau des Bodens mit und ohne Humus ist ein wichtiger Standortfaktor für das Vorkommen von invasiven Neophyten.

1.6 Ziele des Forschungsprojektes

Ziel des Forschungsprojektes war es, Faktoren zu identifizieren, welche die Etablierung und Ausbreitung von invasiven Neophyten begünstigen bzw. hemmen. Dabei galt es vor allem die oben erwähnten Hypothesen zu überprüfen. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurden Gestaltungs- und Unterhaltsmassnahmen entwickelt, die deren Ausbreitung und Ansiedlung hemmen oder gar verhindern. Dadurch soll eine wichtige Lücke in der Strategie zu den invasiven gebietsfremden Arten geschlossen werden: die Entwicklung eines präventiven Ansatzes. Ein solcher fehlt heute weitgehend.

Letztlich sollen auf der Basis der erzielten Resultate sowohl die Projektierung und Gestaltung von Grünräumen als auch deren Unterhalt optimiert sowie geeignete Massnahmen zur Prävention und damit Reduktion von invasiven Neophyten ergriffen werden können.

Grundsätzlich ist Prävention von invasiven Neophyten kostengünstiger als deren Bekämpfung. Es kann damit verhindert werden, dass invasive Neophyten grossflächig aufkommen, sich weiter an den Nationalstrassen stark verbreiten und somit aufwändig bekämpft werden müssen.

1.7 Vorgehen

Das Projekt ist zwischen Juli 2019 und August 2021 in folgenden Phasen abgelaufen:

Methodenentwicklung: Von Juli 2019 bis März 2020 wurde das im Projektantrag vorgeschlagene Vorgehen für die Felddatenerfassung überprüft und weiterentwickelt. Ebenfalls in dieser Zeit wurde das Vorgehen zur Modellierung definiert, die Teststrecken ausgewählt und die Verfügbarkeit von digitalen Daten abgeklärt.

Feldaufnahmen: In den Monaten Mai bis Juli 2020 wurden die Felddaten auf den 20 Teststreckenabschnitten erfasst. Die Arbeiten wurden aus Sicherheitsgründen jeweils durch Unterhaltspersonal begleitet.

Modellierungen / Auswertungen: Ab Juni 2020 bis März 2021 wurden die Felddaten mit Hilfe von GLM- und GLMM-Modellen ausgewertet. Die Auswertung wurde beratend

unterstützt von der Statistikberatung der Fachhochschule Zürich und von Michael Nobis, Mitglied der Begleitgruppe.

Entwicklung von Massnahmen: Basierend auf den Beobachtungen der Unterhaltsdienste und den Ergebnissen der Modellierungen, wurden im März und April 2021 Massnahmen für die Prävention im Rahmen der Gestaltung und des Unterhalts entwickelt und mit Fachleuten aus Bau, Unterhalt und Umwelt diskutiert und verfeinert.

1.8 Qualitätssicherung

Für die Erarbeitung des Projektes wurden folgende Massnahmen zur Qualitätssicherung ergriffen.

Feldarbeit:

- Es wurde eine Anleitung zur Erfassung der Daten erstellt.
- Die Datenbank zur Erfassung wurde so strukturiert, dass Fehleinträge und unvollständige Einträge möglichst verhindert wurden.
- Die Feldarbeiten wurden mit den Gebietseinheiten koordiniert. Die Mäharbeiten in der Intensiven Unterhaltszone und Massnahmen zur Bekämpfung von Neophyten wurden nach den Feldarbeiten ausgeführt. Damit konnte sichergestellt werden, dass vorkommende Neophyten möglichst gut erkennbar waren und es keine Verzerrung der Resultate gab.
- Alle Daten wurden während einer einzigen Feldsaison erhoben, um mögliche andere Einflussfaktoren auszuschliessen.
- Die Begehungen fanden nur bei gutem Wetter statt. Die Begleitung der Feldarbeiten durch die Gebietseinheiten wurden entsprechend innerhalb eines Zeitfensters von Tag zu Tag organisiert.
- Es wurde genügend Zeit einberechnet, um die Rohdaten der Feldarbeiten möglichst zeitnah im Büro zu kontrollieren und zu vervollständigen. Dazu wurden von jedem Aufnahmeort Statusfotos erstellt.
- Die Datenbank der Feldaufnahmen wurde im Verlaufe der Feldarbeiten regelmässig auf Konsistenz und mögliche Fehleinträge überprüft.
- Die Feldarbeiten wurden über den gesamten Zeitraum von derselben Kartiererin aufgenommen. Während der ersten beiden Feldtage wurde das Vorgehen zusammen mit der Projektleitung überprüft und definitiv festgelegt.

Modellierung:

- In der Phase der Methodenentwicklung wurden erste Daten gesammelt und beurteilt und anschliessend für den Aufbau der Datenbank und die Bestätigung der Modellierungsmethode verwendet.
- Die Ergebnisse der Modellierung wurden periodisch nach dem Vier-Augenprinzip auf Plausibilität überprüft und hinterfragt.

2 Methodik Feldarbeit

2.1 Untersuchungsdesign

2.1.1 Übersicht

Das Vorgehen orientiert sich an der Arbeit von Haag und Krüsi (2014), die das Aufkommen von Neophyten an revitalisierten Flussabschnitten untersucht haben. Sie analysierten auf 16 Flussabschnitten das Aufkommen von Neophyten in Abhängigkeit der Bodenstruktur.

Die oben dargestellten Hypothesen (Kapitel 1.5) werden mit Hilfe von statistischen Modellen überprüft. Für jeden Teststreckenabschnitt wurden alle 200 m Untersuchungsflächen in Form eines Transekts von 10 m Breite (respektive 20 m bei Gehölzflächen) senkrecht zur Fahrbahn definiert. In jedem Transekt wurden Stichprobenflächen erfasst, die durch intensive und extensive Unterhaltzonen sowie deren Vegetationstypen abgegrenzt sind. Somit konnten die Transekts in einheitlich gestaltete Stichprobenflächen unterteilt werden. Für die Stichprobenflächen wurden Parameter zur Vegetation, zum Standort, zum Unterhalt und zur Umgebung erfasst. Zudem wurden für jede Stichprobenfläche die vorkommenden Neophytenarten (bzw. deren Abwesenheit) sowie der Deckungsgrad der Neophytenarten und der Vegetation erfasst.

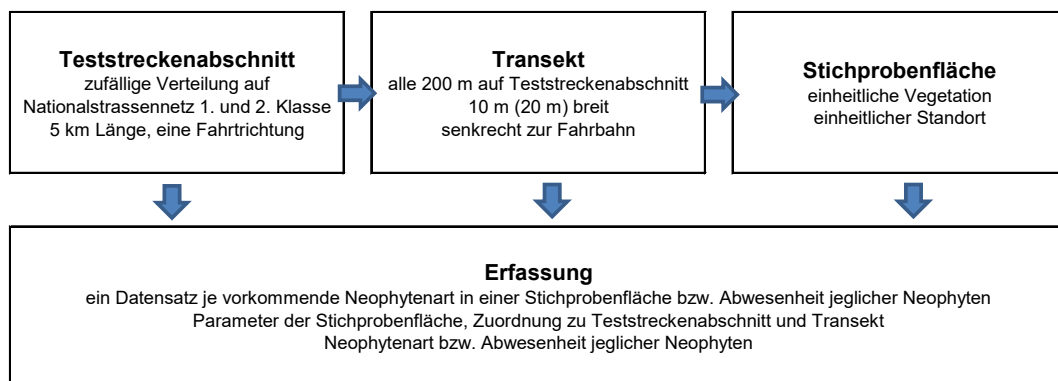


Abb. 4 Übersicht über das Vorgehen zur Erfassung der Daten.

2.1.2 Teststreckenabschnitte

Die Untersuchungen berücksichtigten Nationalstrassenabschnitte in den Gebietseinheiten nördlich der Alpen. Auf einem Teststreckenabschnitt wurde nur eine Fahrbahnseite für die Erfassung ausgewählt. Mittelstreifen wurden aus Sicherheitsgründen nicht beprobt.

Die Auswahl der Teststrecken erfolgte automatisiert anhand einer Zufallsauswahlfunktion («sample») in R (R Core Team, 2020). Hierbei wurde eine zufällige Permutation der Elemente erzeugt. Grundlage war die Kilometrierung des ASTRA. Zur Start-Kilometerzahl, welche aus der Zufallsberechnung mit R resultierte, wurden in einer zufällig ausgewählten Fahrtrichtung die fünf anschliessenden Kilometer dazu gezählt. Insgesamt wurden auf diese Weise zunächst 40 Strecken ausgewählt, welche anschliessend einer Prüfung gemäss den nachfolgenden Ausschlussgründen und Regeln unterzogen wurden. Die ersten 20 geprüften Strecken, welche alle Bedingungen erfüllten, wurden für die Erfassung ausgewählt.

Ausschlussgründe:

- Nationalstrasse 3. Klasse (in der Regel Strassen mit Gegenverkehr)
- Vorkommen einer gemeldeten Grossbaustelle gemäss Homepage ASTRA

Die Strecken müssen folgende Regeln erfüllen:

- Aus organisatorischen Gründen dürfen die Teststrecken nicht über Gebietseinheits-Grenzen verlaufen, müssen also 100% innerhalb ein und derselben Gebietseinheit liegen.
- Die Teststrecken dürfen sich in der gleichen Fahrrichtung nicht überlappen.
- Rastplätze, Tunnels, Viadukte oder Brücken werden nicht beprobt. Beträgt die Länge eines solchen Elementes mehr als 300 m, wird die Teststrecke entsprechend verlängert, so dass die Gesamtlänge der Teststrecke immer 5.0 km beträgt.

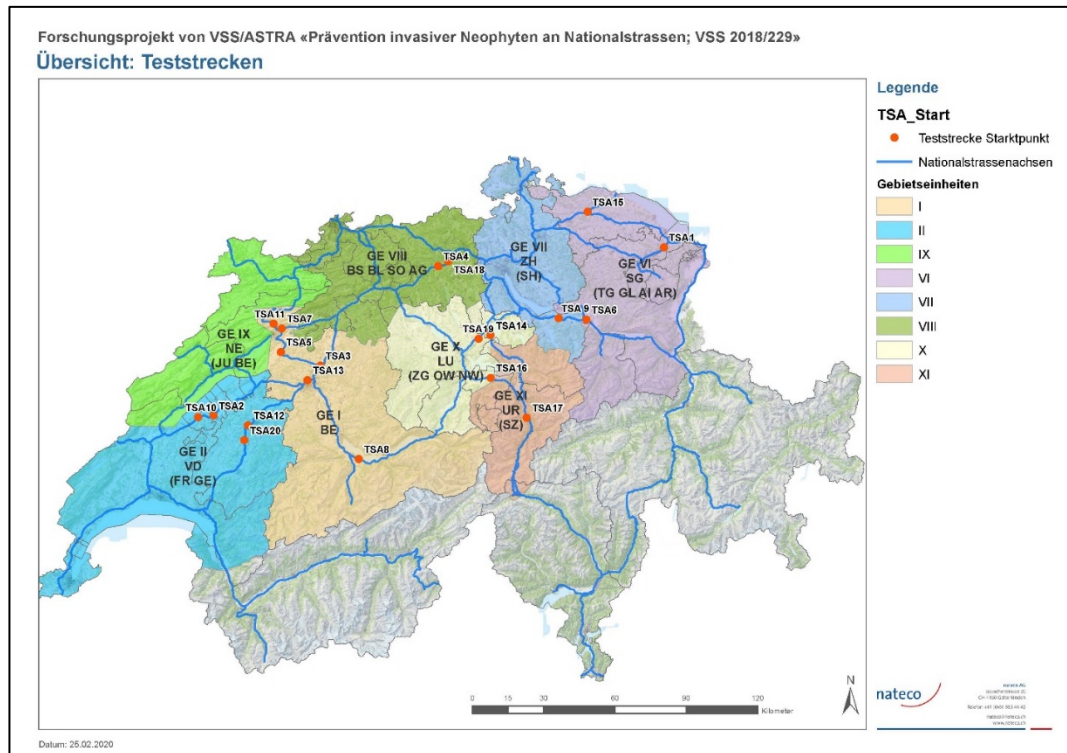


Abb. 5 Verteilung der 20 Teststreckenabschnitte (TSA) von je 5 km Länge auf dem Nationalstrassennetz in der Nordschweiz.

Teststrecken, die aufgrund der Ausschlussgründe nicht berücksichtigt wurden, befinden sich in Bereichen, in denen keine oder wenige Teststrecken auf der Karte zu sehen sind (z.B. in den Gebietseinheiten VI und IX). Dies führt dazu, dass die ausgewählten Teststrecken trotz der erfolgten Zufallsauswahl etwas gruppiert aussehen.

2.1.3 Transekte

Jeder Teststreckenabschnitt wurde alle 200 m beprobt. Die Untersuchungsflächen wurden in Form eines Transekts von 10 m Breite bei gehölzfreien Flächen, respektive 20 m Breite bei Gehölzflächen senkrecht zur Fahrbahn definiert. Insgesamt wurden 506 Transekte aufgenommen. Die nachfolgende Graphik zeigt einen Ausschnitt aus dem Teststreckenabschnitt 15 im Kanton TG mit der Position der Transekte.

Forschungsprojekt von VSS/ASTRA «Prävention invasiver Neophyten an Nationalstrassen; VSS 2018/229»
Ausschnitt von TSA 15, Transekt 1-11

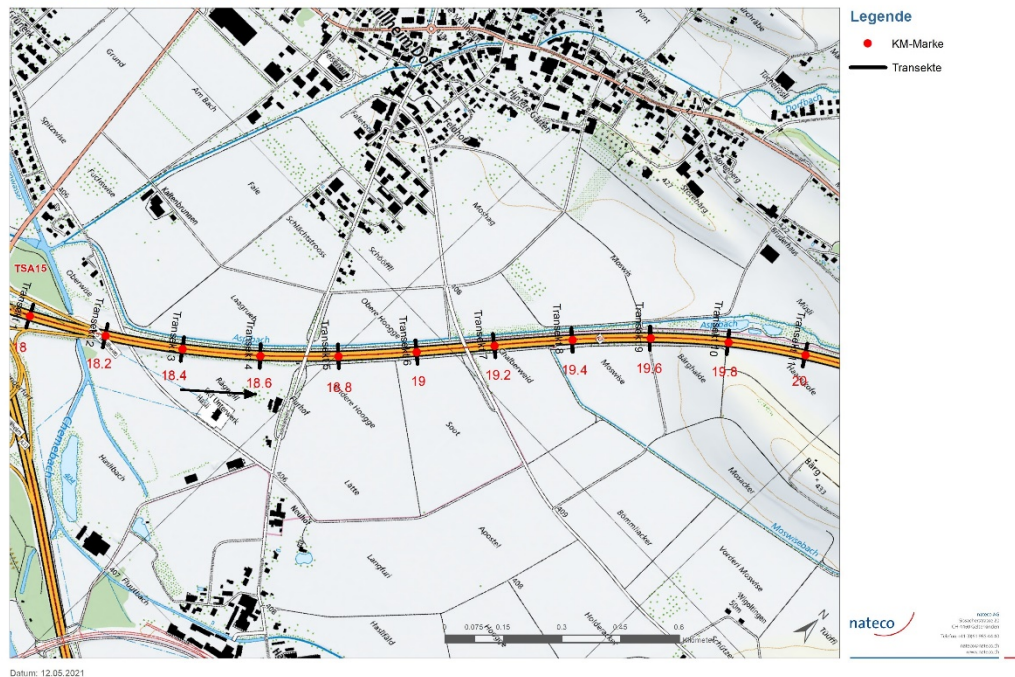


Abb. 6 Ausschnitt aus dem Teststreckenabschnitt 15 an der A7 mit den Positionen der Transekte alle 200 m, die hier in nordöstlicher Fahrtrichtung ausgewertet wurden.

2.1.4 Stichprobenflächen

In jedem Transekt wurden Stichprobenflächen erfasst, die durch Intensive und Extensive Unterhaltszone und deren Vegetationstypen abgegrenzt sind. Die Definition der erhobenen Vegetationstypen orientiert sich an der ASTRA Richtlinie 18 007.

Wenn eindeutig eine andere Bodenbeschaffenheit innerhalb eines Profils vorlag (beispielsweise eine Fläche mit Grob-Kies innerhalb des Intensivstreifens), oder ein Hindernis z.B. ein Leitpfosten vorkam, wurde eine zusätzliche Stichprobenfläche festgelegt.

Das gleiche galt, wenn ein anderer Parameter innerhalb eines Profils respektive einer Stichprobenfläche nicht einheitlich erschien. Beispielsweise wies eine Magerwiese einen steilen, der Fahrbahn zugewandten Bereich sowie einen ebenen Bereich auf, wurde jeweils für den steilen wie auch für den ebenen Teil eine eigene Stichprobenfläche festgelegt. Zwei aufeinander folgende Hindernisse z.B. Leitplanke und Korbsteinmauer wurden ebenfalls als getrennte Stichprobenflächen erfasst. Insgesamt wurden 2083 Stichprobenflächen erhoben. Im Schnitt ergaben sich so 4 Stichprobenflächen pro Transekt.

Die nachfolgende Grafik zeigt ein Beispiel eines 10 Meter breiten Transekts mit der Unterteilung in drei Stichprobenflächen.

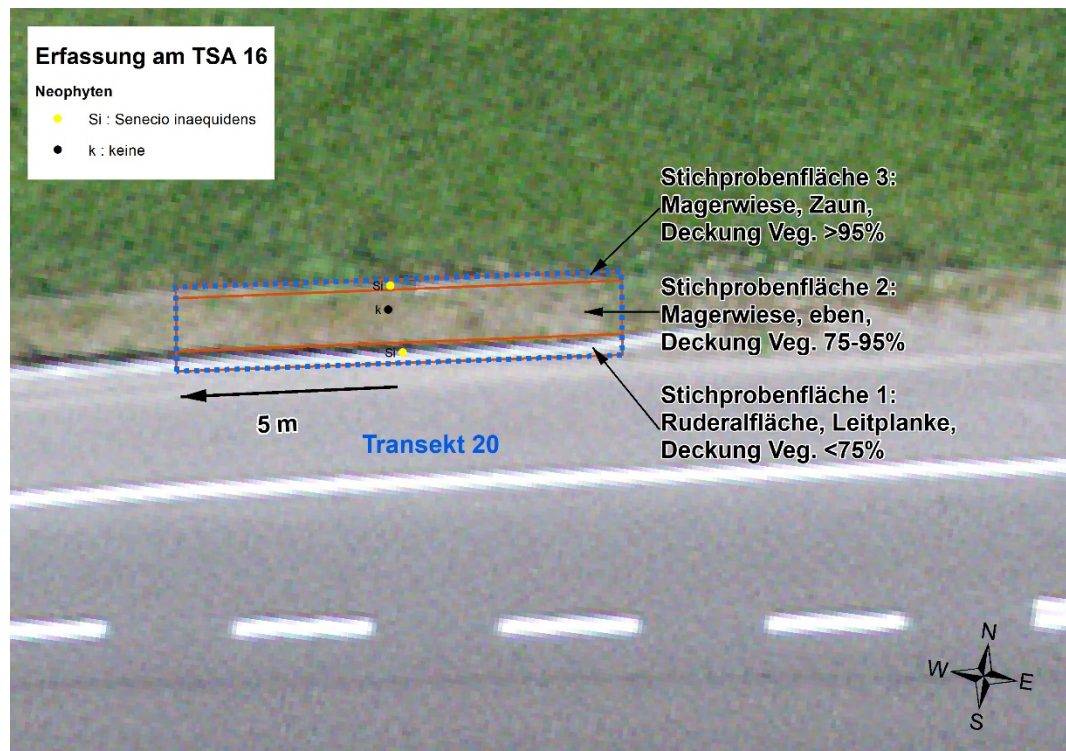


Abb. 7 Aufteilung eines Transekts in die unterschiedlichen Stichprobenflächen. Erfasste Neophyten sind als Punkte dargestellt.

2.1.5 Erfassungen

In jeder Stichprobenfläche wurden die vorkommenden Neophytenarten mit ihrem Deckungsgrad erfasst, wobei die Abwesenheit von Neophyten ebenso erfasst wurde. Eine Erfassung besteht aus der Kombination der vorhandenen Neophytenart (bzw. deren Abwesenheit) und den Parametern der zugehörigen Stichprobenfläche (vgl. Kapitel 2.4). Kommen in einer Stichprobenfläche mehrere Neophytenarten vor, so ergeben sich daraus auch mehrere Erfassungen. Insgesamt wurden 2264 Erfassungen erhoben. Im Schnitt ergaben sich pro Stichprobenfläche 1.1 Erfassungen.

2.1.6 Vorgehen

Die Feldarbeiten wurden von den Gebietseinheiten begleitet. Der Zeitaufwand pro Transekt betrug rund 20 Minuten je nach Differenzierung der Grünräume und den Vorkommen von Neophyten. Die Erfassung konnte somit als «rollende Baustelle» organisiert werden.

Im Büro wurden die Teststreckenabschnitte und die Transekte vordefiniert. Im Feld wurden zuerst alle Stichprobenflächen definiert und aufgenommen. Anschliessend wurden die Flächen auf Neophyten abgesucht und diese erfasst.

In gehölzfreien Flächen wurde die Vegetation jeweils 5 m nach links und 5 m nach rechts ausgehend vom Mittelpunkt des Transekts betrachtet (also insgesamt ein 10 m breiter Streifen) erhoben. Zäune und niedere Lärmschutzwände etc. wurden überwunden, um die Vegetation dahinter genau einsehen zu können.

Manchmal war die Grenze von Gehölzflächen zu den gehölzfreien Flächen verschwommen, d.h. es kamen Saumvegetation oder Hochstaudenfluren mit diversen Gehölzschösslingen vor. Solche Stellen wurden als Saum (Übergang zum Gehölz) aufgenommen.

Da in Gehölzen nur sehr wenige Einzelpflanzen wachsen, wurde in Gehölzflächen die Vegetation jeweils 10 m nach links und 10 m nach rechts ausgehend vom Mittelpunkt des Transekts betrachtet, also insgesamt ein 20 m breiter Streifen erhoben. So wurde die

Chance erhöht, verholzte Neophyten zu erfassen. Die Gehölzflächen wurden nur vom Gehölzrand aus eingesehen, wurden also nicht begangen. Meist sind sie zu dicht oder es gibt einen eingewachsenen Zaun, welcher die Zugänglichkeit verhindert.

2.2 Erfasste Neophytenarten

Es wurden sämtliche Neophytenarten der Schwarzen Liste und der Watch List sowie zusätzlich *Conyza canadensis* (Kanadisches Berufskraut) aufgenommen, da diese Neophytenart häufig anzutreffen war, obwohl sie noch nicht in den genannten Listen aufgeführt ist. Zu jeder Neophytenart wurde der Deckungsgrad in der Stichprobenfläche erfasst.

2.3 Erfasste Parameter

2.3.1 Übersicht

Der Umfang und die Art der erhobenen Parameter variierte je nach Vegetationstyp in der Stichprobenfläche. Dabei wurde zwischen «Vegetationstypen ohne Gehölze», «Gehölze» und «befestigten Flächen» unterschieden. Letztere wurden auch als «Vegetationskategorie» erfasst, da auf diesen oftmals auch Neophyten beobachtet werden konnten. Grundlegende Daten wurden über alle drei Vegetationskategorien hinweg einheitlich erfasst. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die erfassten Parameter der Vegetationskategorien.

Eine detaillierte Liste der erfassten Parameter und deren Detaillierungsgrad findet sich in Kapitel 2.4.

Tab. 4 Übersicht über die erfassten Parameter in den drei Vegetationskategorien. Die einzelnen Parameter sind jeweils differenzierter erfasst worden als hier aufgeführt.

	Vegetationstypen ohne Gehölze	Gehölze	Befestigte Flächen
Anzahl Erfassungen	1602	198	464
Neophytenart			
Deckungsgrad der Neophytenart			
Hindernisse			
Lage gegenüber der Fahrbahn			
Kronenschluss			
Deckungsgrad der Vegetation			
Typ der Entwässerung			
Skelettanteil			
Lage im Intensivstreifen			
Alter der Fläche	Erfassung generiert aus bestehenden Datenbanken. Keine Felderfassung.		
Ausprägung der Umgebung			

2.3.2 Beschreibung der Parameter

Hindernisse: Hindernisse bezeichnen alle Einbauten und Ausstattungselemente innerhalb der Grünräume, die das maschinelle Mähen erschweren. Das sind insbesondere die Leitplanken (Fahrzeugrückhaltesysteme), der Wildschutzzaun aber auch Bordsteine, Einlaufschächte usw. Die Hindernisse wurden differenziert aufgenommen. Es wurden 15 verschiedene Kategorien von Hindernissen und Kombinationen von Hindernissen erfasst (Tab. 5).

Lage gegenüber der Fahrbahn: Es wurde unterschieden, wie sich die Lage einer Stichprobenfläche zur Fahrbahn verhält. Ist sie der Fahrbahn zu- oder abgewandt oder befindet sie sich mit ihr auf einer Ebene.

Kronenschluss: Der Kronenschluss korreliert mit den Pflegeeingriffen bei Gehölzen. Ist der Kronenschluss grösser als 90% kann davon ausgegangen werden, dass lange kein Pflegeeingriff vorgenommen wurde. Es wurden drei Klassen unterschieden.

Deckungsgrad der Vegetation: Ob die Vegetationsdecke beinahe geschlossen oder eher offen ist, wurde anhand des Deckungsgrades beurteilt. Bodenverletzungen bei gehölzfreien Flächen wurden ebenfalls über den Deckungsgrad definiert.

Typ der Entwässerung: Die Art der Entwässerung entlang der Autobahnen erfolgt entweder über die Schulter oder gefasst. Ersteres ist nur möglich, wenn die Fahrbahn auf einem Damm verläuft. Bei der gefassten Entwässerung erfolgt die Ableitung des Wassers mittels eines Randsteins oder einer Abwasserrinne in einen Schacht.

Skelettanteil: Unter dem Parameter Skelett wurde erhoben, wie hoch der Skelettanteil in der untersuchten Fläche ist. Der Skelettanteil im Boden setzt sich aus Komponenten mit einer Korngrösse von über zwei Millimeter zusammen. Die Untersuchungen wurden aus Zeitgründen nur visuell anhand einer Beurteilung der obersten Bodenschicht durchgeführt. Es wurden keine eigentlichen Bodenproben mit einem Bohrer vorgenommen.

Intensivstreifen: Da die ersten Meter anschliessend an den Fahrbahnstreifen häufigeren Pflegeeingriffen unterliegen als die restlichen Flächen, wurde diese Gegebenheit unabhängig von der Kategorie oder dem Vegetationstyp als zusätzlicher Parameter erfasst. Intensivstreifen sind schwierig abzugrenzen. Je nach Gebietseinheit wird die Pflege anders gehandhabt. Befand sich die Stichprobenfläche im Bereich der ersten 2-4 Meter ab dem Fahrbahnstreifen, wurde für den Parameter «Intensivstreifen» der Eintrag «ja» erfasst.

Alter der Fläche: Das Alter der Fläche wurde aus den GIS-Daten des ASTRA (Daten "surface de la chaussée (age)") abgeleitet und auf die Proben übertragen. Es wurde in 6 Klassen eingeteilt.

Bodenbedeckung der Umgebung: Die Bodenbedeckung der Umgebung wurde aus GIS-Daten (Bodenbedeckung der amtlichen Vermessung) berechnet und bezeichnet den Anteil an Wald- oder Landwirtschaftsflächen im Vergleich zu Siedlungs-/Gewerbeflächen in der Umgebung. Die Landbedeckung wird in fünf Klassen eingeteilt, je nach Anteil der Siedlungs-/Gewerbefläche (<20% Siedlung bis > 80% Siedlung).

2.3.3 Umgang mit Spezialfällen

Folgende Spezialfälle und Situationen wurden angetroffen und nicht erhoben oder speziell vermerkt:

- Wenn als Fahrbahnabschluss eine 1.5 m hohe Mauer vorlag (kein Bankett) und der Intensivstreifen oberhalb der Mauer lag, also kein Sameneintrag durch Fahrtwind oder Meteorwasser etc. möglich war, wurde eine Bemerkung erfasst.
- an Treppenmauern wurde jeweils nur eine Stichprobenfläche auf der untersten Stufe genommen, egal wie viele Stufen die Treppe zählt.
- schmale Vegetationsstreifen zwischen Lärmschutzwänden und der Fahrbahn wurden auch erfasst.

Nicht erhoben wurden Flächen in der Zone von Raststätten, da sie durch ihren viel intensiveren Pflegerhythmus und den speziellen Begebenheiten nur wenig repräsentativ sind. Die Teststreckenabschnitte wurden entsprechend verlängert.

2.3.4 Fotodokumentation

Bei jedem Transekt wurden 2-3 Bilder mit einer GPS-Kamera aufgenommen.



Abb. 8 Erfassung der Daten mit Tablet-PC.

2.4 Detaillierte Liste der erfassten Parameter

Die nachfolgende Liste stellt die erfassten Parameter und deren Detaillierungsgrad dar.

Tab. 5 Erfasste Parameter und deren Detaillierungsgrad.

Parameterkategorie	Parameter	Detaillierungsgrad
Neophyten	Neophyten Art	Neophyten der Schwarzen und Watch-Liste
	Deckungsgrad	5 Klassen (keine, Einzelpflanzen, 1-5%, 5-25%, > 25%)
Vegetationstyp	Gehölz	ja / nein
	Uebergang Gehölz (Saum)	ja / nein
	Rasen und Wiesen	ja / nein
	Magerwiesen	ja / nein
	Ruderalflächen	ja / nein
	befestigt	ja / nein
Hindernis	vorhanden	ja / nein
	Leitplanke	ja / nein
	Zaun	ja / nein
	Einbauten	ja / nein
	Kleinstruktur	ja / nein
	Bankett	ja / nein
	Streifenfundament	ja / nein
	feste lineare Begrenzung	ja / nein
	Zaun eingewachsen	ja / nein
	Leitplanke inkl. Zaun	ja / nein
	Leitplanke & Kantenstein	ja / nein
	Bankett & Kantenstein	ja / nein
	Leitplanke inkl. Zaun & Kantenstein	ja / nein
Intensivstreifen	Intensivstreifen vorhanden	ja / nein
Deckung Vegetation	Deckungsgrad	3 Klassen (<75%, 75-95%, > 95%)
Skelettanteil	Skelettanteil	2 Klassen (0-20%, > 20%)
Lage	Fahrbahn zugewandt	ja / nein
	eben	ja / nein
	Fahrbahn abgewandt	ja / nein
Bodenbedeckung	Bodenbedeckung der Umgebung	5 Klassen (< 20%, 20-39%, 40-59%, 60-79%, >80 Siedlung)
Entwässerung	Entwässerung	2 Klassen (gefasst, über Schulter)
Alter der Fläche	Alter der Fläche	6 Klassen (< 1995, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014, ≥ 2015)
Sonneneinstrahlung (nur Gehölz)	Sonneneinstrahlung	3 Klassen (Sonne, Halbschatten, Schatten)

3 Methodik Modellierung

3.1 Einleitung zur Methodik der Modellierung

Anhand statistischer Modellierung kann in der vorliegenden Studie untersucht werden, welche erfassten Parameter das Vorkommen von Neophyten statistisch erklären, um so Massnahmen vorzuschlagen, die das Vorkommen oder die weitere Ausbreitung eindämmen sollen.

Eine statistische Auswertung ist oft ein iterativer Prozess, bei dem gewonnene Erkenntnisse in weitere Analysen einfließen und durch verschiedene Ansätze und Methoden getestet werden. Dabei können statistische Modell im Sinne der Fragestellungen der Studie angepasst und präzisiert werden.

Ein statistisches Modell ist eine formale Repräsentation, die statistische Zusammenhänge zwischen Prädiktoren, unabhängigen Parametern und ihren Interaktionen (oft angenommenen Ursachen) und abhängigen Variablen (oft angenommenen Effekten) beschreibt. Es zeigt statistische Zusammenhänge auf und ermöglicht Vorhersagen für Situationen, die den beobachteten ähnlich sind. Ein Modell kann somit beschreiben und die Frage «was passiert hier?» beantworten und vorhersagen auf die Frage «was wird passieren, wenn...?» machen. Eine kausale Erklärung kann es hingegen nicht liefern. Warum geschieht was das Modell beschreibt muss durch die Forschenden postuliert und begründet werden (Gries 2012).

3.2 Datenerfassung

Die Feldaufnahmen wurden mit einem Tablet-PC (Getac F110) und einem GIS (ArcGIS 10.3.1) gemacht und die Daten in einer Datenbank gespeichert. Die Daten wurden vor der Weiterverarbeitung geprüft und bereinigt. Für die weitere Bearbeitung wurden sie aus der GIS-Datenbank exportiert, auf Plausibilität geprüft und in einem Text Format gespeichert.

Bei kategorialen Parametern wurde eine Gruppierung gemacht, um sämtliche Daten binär (0,1 oder nicht vorhanden, vorhanden) vorliegen zu haben (siehe Kapitel 3.2.3). Dies vereinfacht die Verarbeitung bei der Modellierung.

3.2.1 Auswahl der zu untersuchenden Neophytenarten

Im Rahmen der Feldarbeiten wurden die in der folgenden Tabelle beschriebenen Neophytenarten erfasst und für die Modellierung bearbeitet.

Tab. 6 Vorkommen der erfassten Neophyten in sämtlichen 2264 Erfassungen. Die grau hinterlegten, viel häufigsten Arten wurden für die Modellierung ausgewählt.

Art			Anzahl Erfassungen	Anteil an allen Erfassungen
Arten der Schwarzen Liste	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Aufrechte Ambrosie	1	0.0%
	<i>Artemisia verlotiorum</i>	Verlotscher Beifuss	8	0.4%
	<i>Buddleja davidii</i>	Schmetterlingsstrauch	15	0.7%
	<i>Erigeron annuus</i>	Einjähriges Berufskraut	155	6.8%
	<i>Rhus typhina</i>	Essigbaum	2	0.1%
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Falsche Akazie	13	0.6%
	<i>Rubus armeniacus</i>	Armenische Brombeere	124	5.5%
	<i>Senecio inaequidens</i>	Schmalblättriges Greiskraut	459	20.3%
	<i>Solidago canadensis</i> aggr.	Kanadische Goldruten (Gruppe)	97	4.3%
	davon <i>Solidago canadensis</i>	Kanadische Goldrute	(30)	(1.3%)
	davon <i>Solidago gigantea</i>	Spätblühende Goldrute	(67)	(3.0%)
weitere Arten	<i>Conyza canadensis</i>	Kanadisches Berufskraut	49	2.2%
	Andere invasive Neophyten		3	0.1%
Total			926	40.9%

Rund 40% der Erfassungen beinhalten Neophyten, 60% sind somit frei von Neophyten (vgl. dazu auch Kap. 4.1.3). Für die Modellierungen wurden die vier häufigsten Arten ausgewählt. Für die Arten, die in geringer Zahl gefunden wurden, sind keine aussagekräftigen Auswertungen zu erwarten. Die mit Abstand häufigste Art ist *Senecio inaequidens*. Diese macht rund 50% aller Erfassungen mit einem Neophytenvorkommen aus.

3.2.2 Vegetationstypen

Für die Modellierung wurde zwischen den Daten der Vegetationstypen ohne Gehölze und den Daten der Gehölze differenziert, da gewisse Parameter nur für die jeweiligen Vegetationstypen gültig sind (siehe Tab. 4).

Die Daten der befestigten Flächen sind nicht in die Modellierung eingeflossen, da sie als wenig aussagekräftig hinsichtlich des Vorkommens und der Empfehlung von präventiven Massnahmen eingeschätzt wurden. Es konnte aber gezeigt werden, dass gewisse Arten auch am Rande oder in Spalten und Rissen von befestigten Flächen vorkommen. Aufgrund der Definition von befestigten Flächen als Vegetationstyp, konnten Parameter wie Skeletanteil und der Deckungsgrad der Vegetation nicht aufgenommen werden.

3.2.3 Modellvereinfachung und Gruppierung von Parametern

Zu Beginn der Auswertung wurden die Modelle jeweils mit allen erhobenen Variablen berechnet (Tab. 5). Dies erlaubte es die Zusammenhänge besser zu verstehen und nach Sichtung und Diskussion der ersten Ergebnisse gewisse Variablen auszuschliessen, da sie keinen relevanten Beitrag zum Modell leisten und nicht für die präventiven Massnahmen verwendet werden konnten.

Bei der Exploration der Daten wurde auf Korrelation (d.h. Zusammenhänge) getestet und weitere Parameter ausgeschlossen (siehe Kapitel 4.2.1).

Um die Auswertung zu vereinfachen, wurden gewisse ähnliche Parameter gruppiert und in einem Modell mit einem geringeren Detaillierungsgrad berechnet (Tab. 8). Dies erlaubte es, die wichtigsten Variablen für das Vorkommen der Arten zu identifizieren und somit die Aussagekraft des Modells zu verbessern.

Es wurden folgende Anpassungen vorgenommen:

- Magerwiesen und Ruderalflächen wurden zu «Mager & Ruderal» zusammengefasst. In die Modellierung ist der Parameter aber aufgrund der hohen Korrelation mit «Rasen & Wiesen» nicht eingeflossen.
- Beim Alter, dem Deckungsgrad der Vegetation sowie dem Siedlungsanteil der Umgebung (Bodenbedeckung Umgebung) wurde aufgrund von Erfahrungswerten eine Unterteilung in zwei Kategorien vorgenommen, sodass sie binär vorlagen.
- Die 12 Hindernistypen wurden nach unterschiedlichen Detaillierungsgraden zusammengefasst.

Die Details sind in den beiden nachfolgenden Tabellen zu finden.

Tab. 7 Für die Modellierung der Neophytenvorkommen ausserhalb von Gehölzen verwendete Parameter. «/» steht für eine Unterkategorie in Modellvarianten.

Parameter		Gebrauchsnamen	Detaillierungsgrad
Neophyten	Neophytenart	Senecio	ja / nein
		Erigeron	ja / nein
		Solidago	ja / nein
		Rubus	ja / nein
Vegetationstyp	Rasen & Wiesen	Vegetationstyp Rasen, Wiese	ja / nein
	Mager	Vegetationstyp Magerwiese, Ruderalfläche	ja / nein
	Uebergang Gehölz	Vegetationstyp Saum	ja / nein
	Gehölz	Vegetationstyp Gehölz	ja / nein
Deckungsgrad Vegetation	> 75%	Deckung der Vegetation > 75%	ja / nein
	≤ 75%		ja / nein
Skelettanteil	> 20 %		ja / nein
	≤ 20%		ja / nein
Siedlungsanteil Umgebung	> 20 %		ja / nein
	≤ 20%	Siedlungsanteil in Umgebung < 20%	ja / nein
Entwässerung	gefasst		ja / nein
	über Schulter	Entwässerung über Schulter	ja / nein
Intensivstreifen	vorhanden	Intensivstreifen	ja / nein
Alter	> 10 Jahre		ja / nein
	≤ 10 Jahre	Vegetation < 10 Jahre alt	ja / nein
Hindernis	vorhanden	Hindernis vorhanden	ja / nein
	/ Zaun & Leitplanke	Zaun/ Leitplanke vorhanden	ja / nein
	/ Bankett	Bankett vorhanden	ja / nein
	/ übrige Hindernisse	übrige Hinderniss vorhanden	ja / nein

Für Hindernisse wurden folgende Gruppierungen vorgenommen:

- In einer ersten Variante wurden alle 12 Hindernistypen gruppiert und in einem Model als «Hindernis vorhanden oder nicht vorhanden» berücksichtigt.
- Die 2. Modellvariante machte die Unterteilung von «Zaun und Leitplanke vs. übrige Hindernisse».
- Die 3. Modellvariante umfasste die 3 Gruppen «Zaun und Leitplanke; Bankett und Bankett & Kantenstein sowie übrige Hindernisse».
- Im Gehölz wurde nur Hindernis vorhanden oder nicht vorhanden untersucht.

Tab. 8 Übersicht der Gruppierung der Hindernistypen für verschiedene Modellparametrisierungen.

Vegetationstypen ohne Gehölze	Gehölze
Ein Hindernistyp: alle Hindernisse zusammengefasst	Ein Hindernistyp: alle Hindernisse zusammengefasst
Zwei Hindernistypen: Leitplanke/Zaun – übrige Hindernisse	
Drei Hindernistypen: Leitplanke/Zaun – Bankett – übrige Hindernisse	

Tab. 9 Für die Modellierung der Neophytenvorkommen ausserhalb von Gehölzen verwendete Arten und Parameter inklusive Anzahl Vorkommen und Anteil am Total von $n = 1602$ Stichprobenflächen.

	Anzahl Erfassungen	Anteil am Total von 1602 Erfassungen
Erigeron	133	8.3%
Senecio	355	22.2%
Solidago	86	5.4%
Rubus	78	4.9%
Vegetationstyp Rasen, Wiese	1095	68.4%
Vegetationstyp Magerwiese, Ruderalfläche	386	24.1%
Vegetationstyp Saum	121	7.6%
Deckung der Vegetation >75%	1437	89.7%
Skelettanteil >20%	198	12.4%
Siedlungsanteil in Umgebung < 20%	463	28.9%
Entwässerung über die Schulter	1345	84.0%
Intensivstreifen	1128	70.4%
Vegetation <10 Jahre alt	646	40.3%
Hindernis vorhanden	777	48.5%
Zaun und/oder Leitplanke vorhanden	569	35.5%
Bankett vorhanden	203	12.7%
übrige Hindernis vorhanden	5	0.3%

Im Gehölz wurde nur *Rubus* ausgewertet. *Senecio* war im Gehölz gar nicht anzutreffen und sowohl *Erigeron* als auch *Solidago* nur marginal.

Tab. 10 Für die Modellierung der Neophytenvorkommen im Vegetationstyp Gehölz verwendete Arten und Parameter inklusive Anzahl Vorkommen und Anteil am Total von $n = 198$ Stichprobeflächen.

	Anzahl Erfassungen	Anteil am Total von 198 Erfassungen
Rubus	42	21%
Kronenschluss >60%	178	90%
Lichteinfall von der Seite gross	53	27%
Siedlungsanteil in Umgebung < 20%	48	24%
Vegetation <10 Jahre alt	65	33%
Hindernis vorhanden	40	20%

3.3 Vorgehen

3.3.1 Exploration der Daten

Die gesamte Datenauswertung wurde mit der Statistik-Software R (Version 4.0.1; R Core Team, 2020) und RStudio (Version 1.3.1093) durchgeführt.

Die Exploration der Daten wurde in Anlehnung an Zuur et al. (2010) gemacht. Dabei wurde insbesondere auf Ausreisser (potenzielle Eingabefehler) geprüft und die Korrelationen zwischen den Prädiktoren (erfasste Parameter) getestet.

Um eine erste Übersicht vom Einfluss der Prädiktoren auf das Vorkommen der vier ausgewählten Neophyten-Arten zu erhalten, wurde eine Hauptkomponentenanalyse (PCA; principal component analysis) mit den Packages factoextra (v 1.0.7) und FactoMineR (v 2.4) durchgeführt. Eine PCA ist für binäre Daten nicht besonders geeignet, aber dennoch hilfreich, um gewisse Strukturen und Tendenzen zu erkennen. Die Resultate wurden nicht für weitere Auswertungen verwendet, sondern dienten lediglich dazu Tendenzen in den Daten zu visualisieren und um einen Einblick in mögliche Korrelationen zwischen den Parametern zu erhalten.

Um eine mögliche Korrelation der Prädiktoren zu testen, wurde die Pearson Korrelation mit den R Packages corplot (v 0.84) und Hmisc (v 4.4-2) berechnet. Bei Korrelationen von < -0.7 und > 0.7 wurde aufgrund von Expertenwissen jeweils ein Parameter eliminiert.

3.3.2 Datenauswertung

Der individuelle und gemeinsame Betrag der Prädiktoren in einer multiplen linearen Regression wurde mittels hierarchischer Partitionierung mit dem Package hier.part (v 1.0-6) analysiert.

Die statistische Modellierung erfolgte durch «generalized linear models» (GLM) mittels ade4 (v1.7 -16) unter Verwendung einer «logit» Link-Funktion.

Aufgrund der Ergebnisse lag die Vermutung nahe, dass noch weitere, nicht berücksichtigte Variablen, einen Einfluss auf das Vorkommen der Neophyten haben.

Um dies zu testen, wurde ein «generalized linear mixed model» (GLMM) mit den Teststreckenabschnitten als zufälliger Effekt (random effect) berechnet. Dieses Modell wurde mit dem Package lme4 (v 1.1-26), einer «logit» Link-Funktion sowie «Laplace approximation» und dem «nelder mead» optimizer erstellt.

Bei der Modellierung der Neophyten wurde immer ein GLM und, wo möglich, ein GLMM berechnet und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Eine kurze Beschreibung zu den statistischen Begriffen und Methoden ist im Anhang (Kapitel II) zu finden.

Die Prädiktoren wurden für die GLM und GLMM Modellierung vor der Berechnung standardisiert (skaliert und zentriert), um sie direkt miteinander vergleichen zu können.

Ausgehend von einem Modell mit sämtlichen Prädiktoren wurde bei der Berechnung der GLM und GLMM Modelle jeweils manuell der Prädiktor mit dem kleinsten Einfluss eliminiert, bis nur noch signifikante Prädiktoren im Modell enthalten waren.

3.3.3 Evaluation Modellqualität

Um zu beurteilen, wie gut die ausgewählten Modelle funktionieren und ob die Modellauswahl angemessen ist, wurden verschiedene Tests durchgeführt. Um die Modellqualität abzuschätzen, wurde ähnlich dem Determinationskoeffizient R^2 für die lineare Regression ein pseudo R^2 für die logistische Regression berechnet. Es ist eine Art und Weise zu prüfen, wie viel Streuung in den Daten durch die Regression erklärt wird. Ein R^2 ist bei GLM nicht anwendbar, da es auf maximum likelihood Schätzung durch iterative Berechnung beruht und nicht die Varianz minimiert. Um die Güte des Modells (goodness of fit) in einem GLM abzuschätzen, muss ein pseudo Bestimmtheitsmass wie das pseudo R^2 berechnet werden (Mbachu 2012).

Berechnet wurde ein McFadden's R^2 (McFadden 1974):

$$pseudo R^2_{McFadden} = 1 - \frac{\log(L_{mod})}{\log(L_{null})}$$

$\log(L_{mod})$ ist die logarithmische Plausibilitätsfunktion des berechneten Modells und L_{null} diejenige des Null-Modells (nur der Intercept wird als Prädiktor verwendet).

Ein McFadden R^2 ist eine konservative Methode, bei der Werte von 0.2 - 0.4 für ein ausgezeichnetes Modell stehen (McFadden 1977).

AIC (Akaike information criterion) ist eine Methode, um die Qualität des Modells durch Vergleich mit anderen Modellen zu beschreiben. Der absolute Wert ist nicht entscheidend, er sollte aber möglichst klein sein. AIC basiert auf der Devianz und penalisiert Modelle mit vielen Prädiktoren. Im Vergleich zu einem Modell mit einem höheren AIC, weist ein Modell mit einem niedrigeren Wert auf ein besser geeignetes Modell hin.

Eine weit verbreitete Methode zur Evaluation eines binären Modells ist der Vergleich der Vorhersagen mit den angetroffenen Eigenschaften mittels einer Wahrheits-Matrix (confusion matrix). Die folgende Grafik stellt eine solche Matrix dar. Dabei wird verglichen, ob der vorhergesagte Wert (z.B. *Senecio* vorhanden) auch tatsächlich beobachtet wurde (Wahrheit). Ist dies der Fall, hat das Modell eine richtige Vorhersage gemacht (true positiv). Analog gibt es 4 mögliche Ergebnisse. Daraus abgeleitet können die Sensitivität (sensitivity) und die Genauigkeit (specificity) berechnet werden.

		Wahrheit		
		Positiv	Negativ	
Vorhersage	Positiv	Richtig positiv (True positive)	Falsch positiv (false positive)	Relevanz, Genauigkeit = $\frac{tp}{tp + fp}$
	Negativ	Falsch negativ (false negative)	Richtig negativ (true negative)	
		Sensitivität = $\frac{tp}{tp + fn}$		Korrektklassifikationsrate $\frac{tp + tn}{tp + tn + fp + fn}$

Abb. 9 Darstellung einer confusion matrix (Klose 2015). Horizontal sind die Vorhersagen (ja oder nein) und vertikal die erfassten Werte (ja oder nein). Aus den korrekt respektive falsch vorhergesagten Werten, lassen sich anschliessend Kennzahlen zur Qualität der Vorhersagen berechnen.

Bei den Resultaten des GLM wurde zudem noch der «area under the curve (AUC)» Wert berechnet. AUC ist die Bewertungsmetrik zur Berechnung der Güte eines binären Modells. Sie berechnet sich aus der graphischen Darstellung der oben beschriebenen Matrix für verschiedene Schwellenwerte, um die vom Modell vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten in Vorkommen und Nichtvorkommen einzuteilen (ROC curve; receiver operating characteristic curve). AUC kann Werte von Null (schlechte Klassifikation) bis 1 (perfekte Klassifikation) annehmen.

Die Auswahl der Prädiktoren erfolgte manuell. Um die Qualität des GLMM abzuschätzen, wurde ein likelihood-ratio Test mit dem Ausgangsmodell und dem vereinfachten Modell durchgeführt.

Die Null-Hypothese besagt, dass das einfachere Modell das Beste, d.h. mit maximierter likelihood Funktion, ist. Werte zwischen 0 und 1 sind möglich, wobei ein Wert Nahe bei 1 bedeutet, dass kein grosser Unterschied zwischen den Modellen besteht und die Null-Hypothese somit nicht verworfen werden kann. Ist der Wert klein, ist das alternative Modell besser.

3.3.4 Validierung

Es ist wichtig ein Modell zu validieren, um die Prognosefähigkeit des Modells zu prüfen. Ein Modell lässt sich am besten validieren, wenn die Vorhersagefähigkeit des Modells anhand von einem separaten Datensatz gemessen wird, der nicht zur Kalibrierung des Modells genutzt wurde. Die Validierung sollte aber nicht nur mathematisch, sondern auch konzeptuell (z.B. indem ermittelt wird ob die getroffenen Annahmen gerechtfertigt sind) erfolgen (Rykiel, 1996).

Die mathematische Validierung der Modelle wurde mit einer 10-fachen Kreuzvalidierung (10-fold cross validation) mit 10 Repetitionen mithilfe von caret (v 6.0 – 86) durchgeführt.

Das Vorgehen ist in der folgenden Grafik beschrieben:

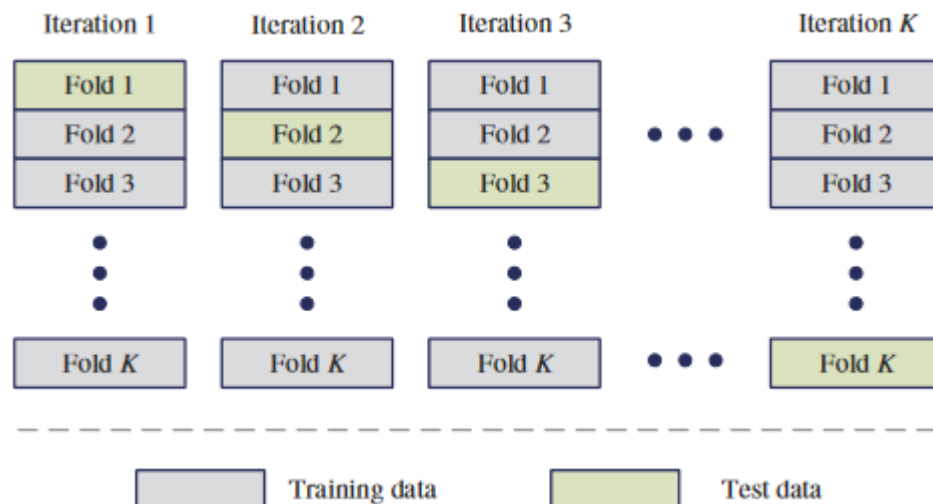


Abb. 10 Auszug aus Ren (2019). Methodik einer k -fold cross validation.

Der gesamte Datensatz wird zufällig in 10 Teilmengen aufgeteilt. Das Modell wird anschliessend auf 9 Teilmengen trainiert und mit der 10-ten getestet. Dies wird für jede der 10 Teilmengen gerechnet, 10-mal wiederholt und die Gesamtfehlerquote als Durschnitte der einzelnen Berechnungen ausgegeben.

Nach Cramer (1999) wurde, da das Vorkommen/ nicht Vorkommen bei allen 4 Arten nicht ausbalanciert war, die relative Häufigkeit als Schwellenwert für die Vorhersage bei der Klassifizierung verwendet. Dies ist nach Liu (2005) eine der zuverlässigsten Methoden.

3.3.5 Aggregation auf Stufe Transekt

Es wurde zudem geprüft, ob die Aussagekraft des Modells höher ist, wenn die Eigenschaften von Stichprobenflächen auf Ebene der Transekte zusammengefasst werden. So wurde beispielsweise untersucht, ob es mehr Vorkommen von *Senecio* in Transekten gibt, bei denen die Entwässerung über die Schulter erfolgt.

Die Daten für die Transekte basieren auf den Daten der Stichprobenflächen, indem ein Parameter vorkam, wenn er in mindestens einer Stichprobenfläche vorkam.

Da die Ergebnisse auf einem kleineren Datensatz beruhen ($n = 502$) und denjenigen der Auswertung auf Stufe Erfassung sehr ähnlich sind, wurde dieser Ansatz nicht weiterverfolgt und dargestellt.

4 Resultate

4.1 Einleitung

4.1.1 Generelles

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Vorkommen der vier untersuchten Neophytenarten von zahlreichen Faktoren abhängig sind. Es gibt somit nicht einen einzelnen Faktor, der für das Vorkommen von Neophyten verantwortlich ist. Es spielen immer verschiedene Faktoren zusammen und es ist zu vermuten, dass weitere Faktoren (z.B. Fahrtwind, Bekämpfungsmassnahmen) einen Einfluss haben, die im Projekt nicht untersucht wurden.

Trotzdem kann festgehalten werden, dass das Projekt einige wichtige Faktoren identifizieren konnte, welche das Vorkommen der vier untersuchten Neophytenarten fördern oder hemmen. Für die Prävention ist es daher wichtig, dass der Grünraum so gestaltet wird, dass für Neophyten fördernde Faktoren vermieden und hemmende Faktoren gefördert werden. Die entsprechenden Empfehlungen finden sich in Kapitel 7.

4.1.2 Aufbau des vorliegenden Kapitels

Im ersten Teil dieses Kapitels werden die Resultate der Modellierungen dargestellt. Es geht dabei insbesondere um die Qualität der Aussagen in den ausgewerteten Modellen.

In den nachfolgenden Kapiteln zu den einzelnen Neophytenarten werden die Resultate der Feldarbeit und der Modellierung je Art dargestellt. In der Zusammenfassung sind die Resultate pro Art mit typischen Bildern und stichwortartig dargestellt.

Im abschliessenden Kapitel werden die Resultate der vier Arten einander gegenübergestellt, so dass ein direkter Vergleich zwischen den Arten möglich ist.

4.1.3 Häufigkeit der Neophytenvorkommen

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Häufigkeit der Neophytenvorkommen in Transekts, Stichprobenflächen und Erfassungen. Auffällig ist, dass in 88% aller Transekts Neophyten angetroffen wurden. Dabei muss noch angemerkt werden, dass der Teststreckenabschnitt 11 im Berner Jura vollkommen frei von Neophyten war. Wird dieser Abschnitt nicht berücksichtigt, so wiesen 93% aller Transekts Neophyten auf.

Tab. 11 Häufigkeit der der erfassten Neophyten in Transekts, Stichprobenflächen und Erfassungen.

	Anzahl	davon mit Neophyten	Anteil mit Neophyten
Transekts	506	445	88%
Stichprobenflächen	2038	700	34%
Erfassung	2264	926	41%

4.2 Modellierung

4.2.1 Explorative Statistik

In einem ersten Schritt wurde die Verteilung und Struktur der Daten analysiert.

Bei der räumlichen Verteilung konnten Unterschiede zwischen den Transekten festgestellt werden. Im Teststreckenabschnitt 11 wurden keine Neophyten gefunden. Dieser wurde versuchsweise aus der Analyse ausgeschlossen, hatte aber keinen relevanten Einfluss auf die Ergebnisse.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Korrelationen zwischen den ausgewerteten Parametern.

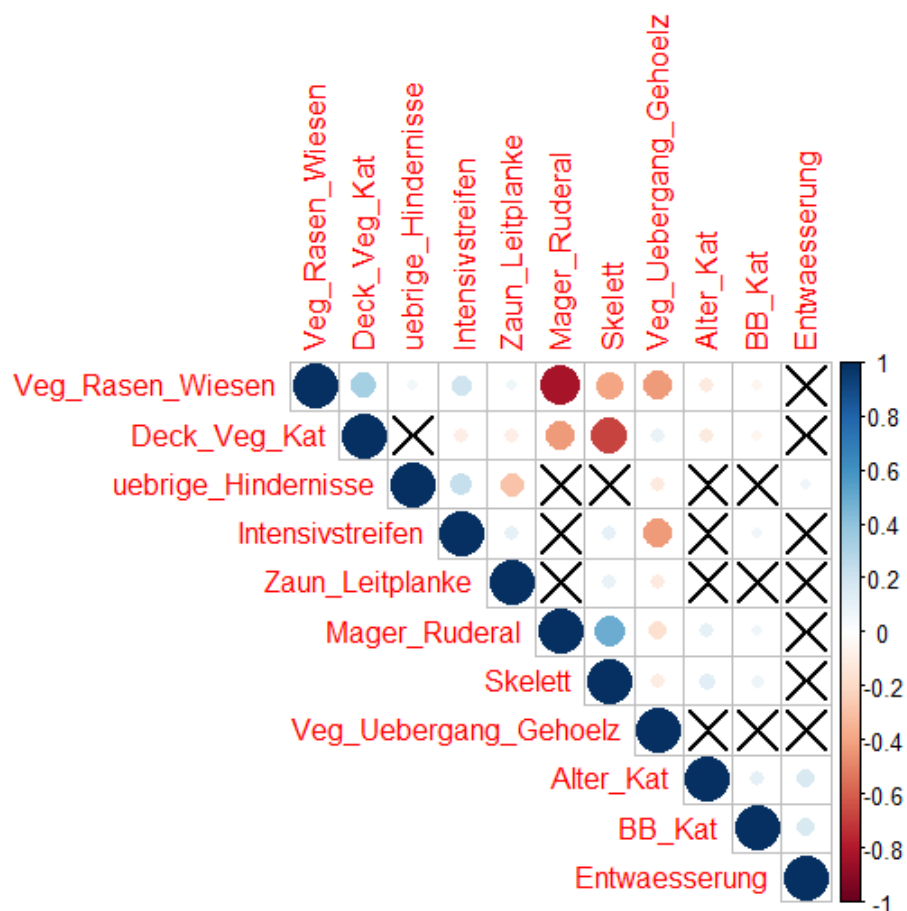


Abb 11 Korrelationsmatrix der Prädiktoren. Je grösser der Kreis, desto stärker ist die Korrelation. Die blauen Farbtöne stehen für eine positive, die roten für eine negative Korrelation. Die Kreuze markieren eine nicht signifikante Korrelation mit Konfidenzintervall 95%. Veg_Rasen_Wiesen = Rasen & Wiesen, Deck_Veg_Kat = Deckungsgrad Vegetation, Mager_Ruderal = Magerwiesen & Ruderalflächen, Skelett = Skelettanteil, Veg_Uebergang_Gehoelz = Saum, Alter_Kat = Alter der Fläche, BB_Kat = Bodenbedeckung Umgebung.

Aufgrund der gefundenen Korrelationen wurden gewisse Parameter von der Auswertung ausgeschlossen. So ist der Deckungsgrad der Vegetation negativ mit dem Skelettanteil

korreliert (-0.68). Ein hoher Deckungsgrad der Vegetation war demnach häufig mit geringen Skelettanteil verknüpft. Der Skelettanteil wurde schlussendlich aus der Modellierung ausgeschlossen, da eine Aussage zur Vegetationsdichte für die Prävention von grösserer Bedeutung ist. Auch die beiden Vegetationstypen Rasen_Wiesen und Magerwiesen_Ruderalflächen sind stark negativ korreliert (-0.83) wobei letzteres aus der Auswertung ausgeschlossen wurde.

4.2.2 Modellierung mit GLM

In der nachfolgenden Tabelle sind die Resultate der GLM Modellierung dargestellt. Nur die signifikanten Prädiktoren (mit Anwendung eines 95% Konfidenzintervalls) sind abgebildet. Da die Prädiktoren standardisiert wurden, kann der absolute Beitrag unter «estimate» direkt miteinander verglichen werden. Für das Vorkommen von *Senecio* hat das Vorhandensein von Hindernissen den grössten Einfluss, gefolgt von der Lage im Intensivstreifen.

Tab. 12 Zusammenstellung der Modellierung mit GLM. Estimate = logit = ln of odds = ln von Chance, OR= odds ratio = Chancenverhältnis.

Art	Habitat		Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	OR	2.50%	97.50%	AIC	McFadden R ²
<i>Senecio</i>	Wiese	(Intercept)	-1.4460	0.0706	-20.4940	2.00E-16	0.2355	0.2045	0.2697	1538	0.0995
		Hinderniss	0.5144	0.0681	7.5570	4.12E-14	1.6726	1.4656	1.9141		
		Deck_Veg_Kat	-0.2299	0.0558	-4.1210	3.77E-05	0.7946	0.7128	0.8872		
		BB_Kat	-0.2071	0.0687	-3.0160	0.00256	0.8130	0.7091	0.9284		
		Entwaesserung	-0.2520	0.0587	-4.2950	1.75E-05	0.7772	0.6932	0.8727		
		Intensivstreifen	0.3905	0.0780	5.0070	5.53E-07	1.4778	1.2725	1.7286		
<i>Solidago</i>	Wiese	(Intercept)	-2.9747	0.1223	-24.3310	2.00E-16	0.0511	0.0397	0.0643	658	0.0271
		Alter_Kat	-0.4179	0.1281	-3.2630	1.10E-03	0.6584	0.5062	0.8385		
		Intensivstreifen	-0.2673	0.1035	-2.5810	9.84E-03	0.7654	0.6257	0.9403		
<i>Erigeron</i>	Wiese	(Intercept)	-2.45157	0.0946	-25.9070	2.00E-16	0.0862	0.0712	0.1032	907	0.0159
		Hinderniss	-0.25604	0.0938	-2.7300	6.33E-03	0.7741	0.6423	0.9284		
		BB_Kat	0.22303	0.0850	2.6230	8.71E-03	1.2499	1.0558	1.4744		
<i>Rubus</i>	Wiese	(Intercept)	-3.2619	0.1476	-22.1040	2.00E-16	0.0383	0.0282	0.0504	582	0.0822
		Hinderniss	-0.3321	0.1374	-2.4180	1.56E-02	0.7174	0.5432	0.9332		
		Veg_Rasen_Wiesen	0.4632	0.1909	2.4260	1.53E-02	1.5892	1.1267	2.4090		
		Intensivstreifen	-0.2713	0.1303	-2.0810	3.74E-02	0.7624	0.5924	0.9898		
		Veg_Uebergang_Gehoelz	0.515	0.1255	4.1040	4.05E-05	1.6737	1.3245	2.1795		
<i>Rubus</i>	Gehölz	(Intercept)	-1.4562	0.2006	-7.259	3.91E-13	0.2331	0.1526	0.3380	197	0.0591
		Alter_Kat	-0.721	0.2373	-3.038	0.00238	0.4863	0.2885	0.7452		

Die folgende Grafik zeigt das Ergebnis der hierarchischen Partitionierung für die 4 Arten in der Wiese. Dunkel dargestellt ist der gemeinsame Beitrag und hell der unabhängige Beitrag des jeweiligen Prädiktors zur Modellgüte. Die hierarchische Partitionierung ermöglicht es, den Beitrag jedes Prädiktors zur gesamten erklärten Varianz des Modells für alle möglichen Modelle zu berechnen (siehe Beschreibung in Anhang II.2). Je grösser der unabhängige Beitrag eines Prädiktors ist, desto wichtiger ist dieser unabhängig von den übrigen Prädiktoren für die Qualität des Modells. So leistet «Hindernis» zusammen mit dem «Intensivstreifen» auch den grössten unabhängigen Beitrag im Modell für *Senecio*.

Bei *Solidago* und *Erigeron* wird ersichtlich, dass das Alter und der Intensivstreifen respektive Hindernisse und die Bodenbedeckung der Umgebung zwar signifikant sind, der Beitrag aber unter 10% liegt. Auch die berechneten McFadden R² sind mit 0.027 (*Solidago*) und 0.016 (*Erigeron*) sehr klein. Beide Modelle erklären somit weniger als 3% der Variabilität der Neophytenvorkommen. Bei *Rubus* (0.082) und *Senecio* (0.099) sind die Werte etwas höher, allerdings immer noch sehr niedrig. Dies lässt darauf schliessen, dass weitere und in den Modellen nicht berücksichtigte Faktoren für die Vorkommen dieser Neophyten von Bedeutung sind.

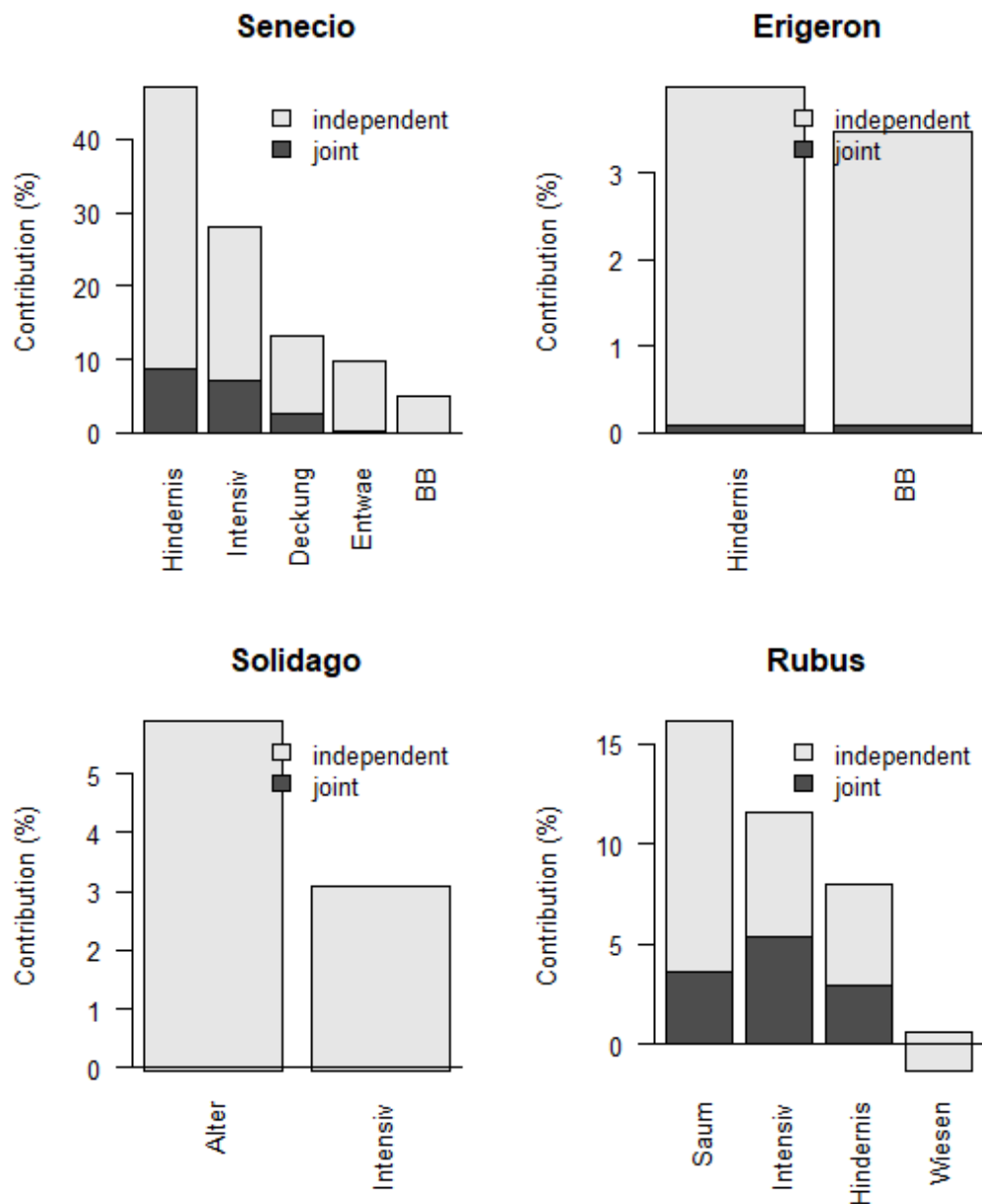


Abb. 12 Hierarchische Partitionierung für die signifikanten Prädiktoren.

4.2.3 Modellierung mit GLMM

Die detaillierten Resultate der GLMM Modellierung sind im Anhang V zu finden. Für *Solidago* liegt kein Ergebnis vor, da die Kalibrierung des Modells nicht konvergierte.

Insbesondere bei *Senecio* wird ersichtlich, dass das Einführen von den Teststreckenabschnitten als zufälliger Effekt einen positiven Einfluss auf die Modelqualität hat (pseudo R^2 von 0.246). Auch werden die Ergebnisse aus der GLM Modellierung grundsätzlich bestätigt (mehr dazu in Kapitel 6.2.2). Einzig die Bodenbedeckung der Umgebung fällt als signifikanter Prädiktor weg im Vergleich zum GLM-Ansatz. Dies liegt vermutlich daran, dass die Bodenbedeckung sehr stark lokal geprägt ist und mit den Teststreckenabschnitten korreliert ist.

In der folgenden Grafik ist die Verteilung des Intercepts der 20 Teststreckenabschnitte (TSA) des *Senecio*-Modells graphisch dargestellt. Ein Intercept entspricht der Chance *Senecio* bei konstanten Prädiktoren anzutreffen (Darstellung in logarithmischer Form).

Jeder Punkt stellt den Intercept des zufälligen Effektes in einem bestimmten Teststreckenabschnitt dar. Die Werte variieren deutlich und stehen auch in Zusammenhang mit der Häufigkeit des Vorkommens (siehe auch Abb. 14). So ist beispielsweise im Teststreckenabschnitt 2 bei einem Intercept von 2.674 die Chance *Senecio* zu finden deutlich grösser als im Abschnitt 7 (0.096), wo die Chance auf *Senecio* zu treffen in etwa gleich ist wie keine zu finden.

Dies ist ein Indiz dafür, dass die Lage der Teststreckenabschnitte unabhängig von den untersuchten Prädiktoren einen Einfluss auf das Vorkommen von *Senecio* hat. Dies wurde durch die Zunahme der Modellgüte bestätigt.

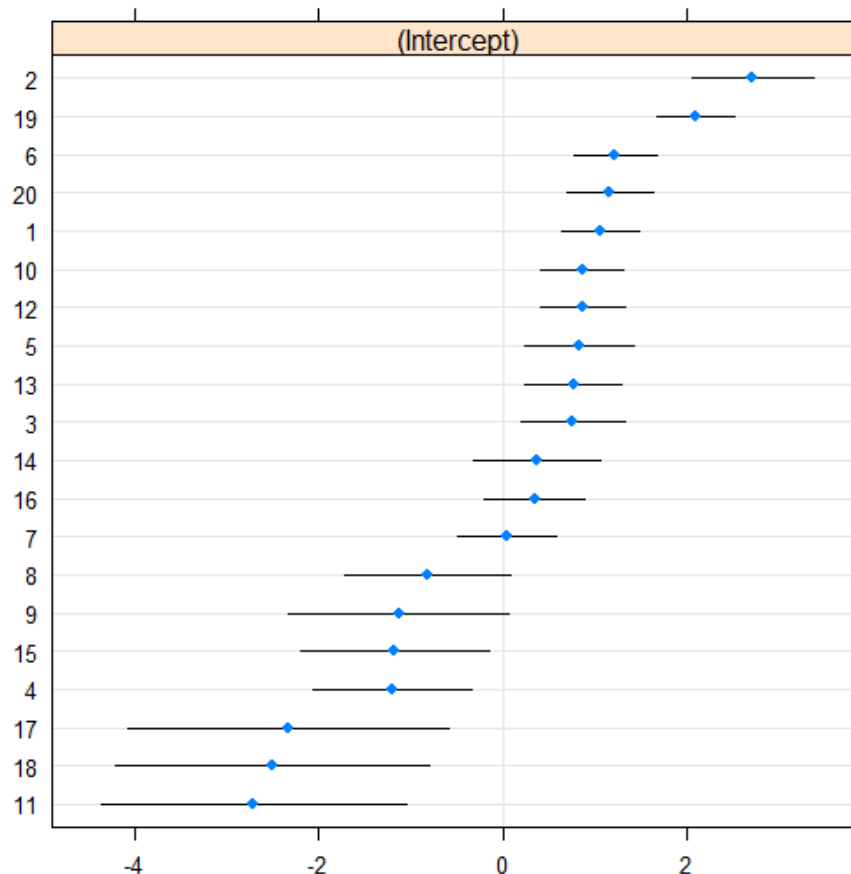


Abb. 13 Caterpillar Plot für *Senecio* im Vegetationstyp Wiese. Die Nummern am linken Rand entsprechen den Nummern der Teststreckenabschnitte. Die x-Achse zeigt in einer logarithmischen Skala das Intercept des random effects in den unterschiedlichen TSA mit Fehlerbalken.

Die nachfolgende Grafik zeigt die relative Häufigkeit von *Senecio* in den einzelnen Teststreckenabschnitten. Sie zeigt ein sehr ähnliches Bild wie die Abb. 13. In den TSA 17, 18 und 11 hat es keine Vorkommen von *Senecio*.

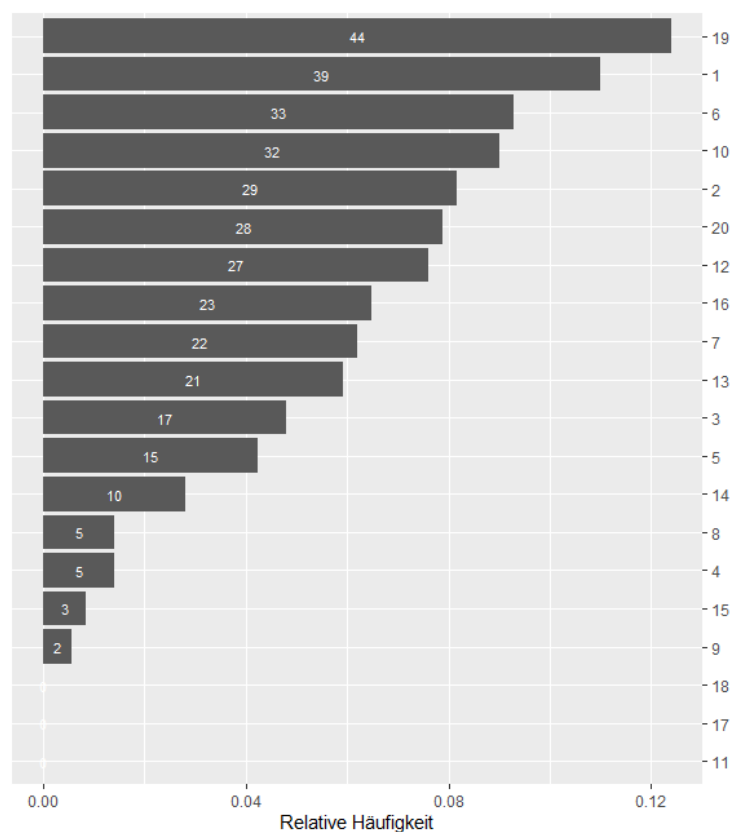


Abb. 14 Verteilung der 355 Vorkommen von *Senecio* auf die verschiedenen Teststreckenabschnitte (rechts). Die weissen Zahlen in den Balken stehen für die Anzahl der Vorkommen in den verschiedenen Teststreckenabschnitten. Auf der x-Achse ist die prozentuale Verteilung der 355 Vorkommen auf die verschiedenen Teststreckenabschnitte angegeben.

4.2.4 Validierung

Bei der Validierung der Modelle wird deutlich, dass die gefundenen Prädiktoren zwar einen signifikanten Beitrag für das Vorkommen der Neophyten-Arten leisten, das Modell aber dennoch nur einen kleinen Teil der gesamten Variabilität der erhobenen Daten erklären kann. Die berechneten AUC Werte bewegen sich zwischen 0.55 für *Solidago* und 0.72 für *Senecio*. Bei *Senecio* mit einem AUC >0.7, kann von einer akzeptierbaren Aussagekraft des Modells ausgegangen werden.

Tab. 13 Ergebnisse der Modellvalidierung. AUROC = Fläche unter der ROC-Kurve, Sens= Sensitivity und Spec = Specificity. Cut-off ist der für die Klassifizierung der Vorhersage genutzte Schwellenwert.

Art	Hatbitat	Modell	AUROC	Sens	Spec	Cut-off
Senecio	Wiese	GLM, 1 Hinderniss	0.72	0.761	0.605	0.22
Solidago	Wiese	GLM, 1 Hinderniss	0.55	0.767	0.413	0.054
Erigeron	Wiese	GLM, 1 Hinderniss	0.567	0.759	0.36	0.083
Rubus	Wiese	GLM, 1 Hinderniss	0.66	0.692	0.61	0.049
Rubus	Gehölz	GLM, 1 Hinderniss	0.63	0.881	0.385	0.212

Die Sensitivity von 0.72 zeigt welcher Anteil der effektiven Vorkommen von *Senecio* durch das Modell gefunden wird (72%). Die Specificity sagt aus, wie die korrekt vorhergesagten Vorkommen von den Nicht-Vorkommen unterschieden werden.

4.3 *Senecio inaequidens* / Schmalblättriges Greiskraut

4.3.1 Vorkommen in den Vegetationstypen

Senecio ist die häufigste der vier untersuchten Neophyten-Arten. Sie wurde in rund 20% aller Stichprobenflächen gefunden und ist damit so häufig wie alle anderen erfassten Neophytenarten zusammen. *Senecio* tritt regelmässig in allen Vegetationstypen ausser in Gehölzen auf. Auffallend ist auch ihr Vorkommen auf befestigten Flächen, wo sie jede Ritze zu nutzen vermag.

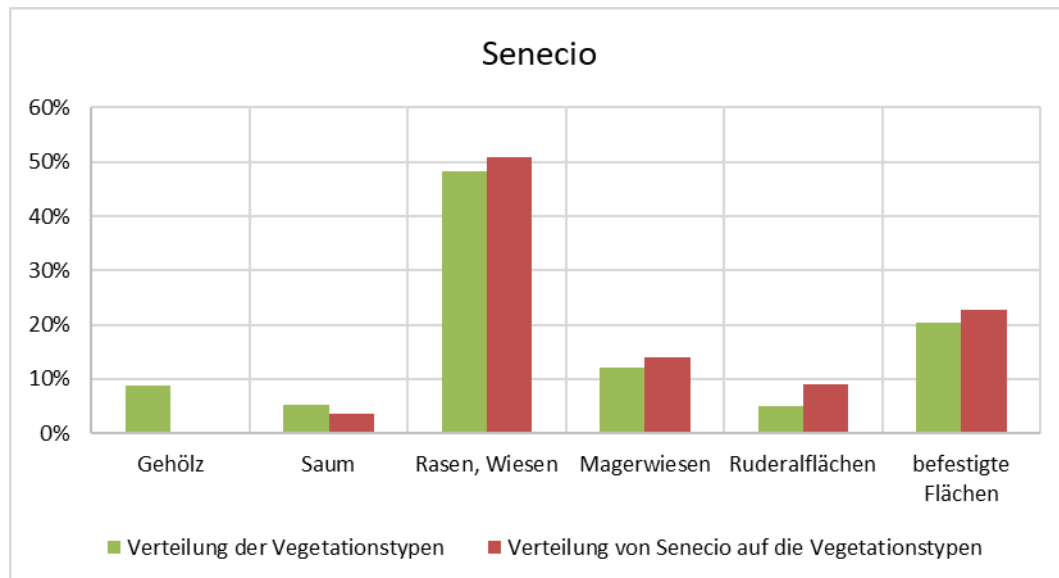


Abb. 15 Verteilung des Vorkommens von *Senecio* auf die verschiedenen Vegetationstypen.

4.3.2 Deckungsgrad

Auffällig ist, dass *Senecio* kaum je als Einzelpflanze anzutreffen ist. Dies dürfte auf die Verbreitungsstrategie mit einer grossen Zahl von flugfähigen Samen und die breite Nutzung von unterschiedlichen Lebensräumen zurückzuführen sein.

Tab. 14 Verteilung der erfassten Vorkommen von *Senecio* auf die unterschiedlichen Deckungsgrade.

Einzelpflanze	1-5%	5-25%	über 25%
3%	41%	34%	21%

4.3.3 Modellierung mit GLM und GLMM

Senecio zeigt einen klaren Bezug zu Hindernissen. In allen fünf angewendeten Modellen ist ein klarer Zusammenhang zwischen Auftreten von *Senecio* und dem Vorkommen von Hindernissen erkennbar. In diesem Zusammenhang dürfte auch erklärbar sein, warum *Senecio* in Intensivstreifen vermehrt zu erwarten ist.

Im Weiteren bevorzugt *Senecio* eher offene Vegetationsdecken, sucht also Lücken, in denen es sich festsetzen kann. Das zeigt sich darin, dass die GLMM Modelle ergeben, dass Rasen und Wiesen gemieden werden und ebenso Vegetation mit einer Deckung von mehr als 75%.

Bezüglich der Umgebung zeigen die beiden Modelle unterschiedliche Ergebnisse. Während GLM erwarten liesse, dass *Senecio* eher in bebauten Gebieten auftreten würde, zeigt GLMM, dass dazu keine Präferenz vorhanden ist. Dies bestätigt den Einfluss der Lage der Teststreckenabschnitte auf die Vorkommen der Neophyten, da die Umgebung direkt mit dieser zusammenhängt.

Schliesslich kann festgehalten werden, dass eine Entwässerung über die Schulter nicht zu einem vermehrten Auftreten von *Senecio* führt. *Senecio* findet sich im Gegenteil häufiger in Bereichen mit gefasster Entwässerung.

Tab. 15 Resultate der unterschiedlichen Modelle zum Vorkommen von *Senecio*. Die grau hinterlegten Felder wurden im jeweiligen Modell nicht berechnet.

grün = positiver Einfluss, rot = negativer Einfluss, ohne Farbe = kein Einfluss

* / ** / *** = Mass für die Bedeutung (Signifikanz) des entsprechenden Parameters

	Modell mit einem Hindernistyp		gesplittetes Modell zwei Hindernistypen		gesplittetes Modell drei Hindernistypen	
	GLM	GLMM	GLM	GLMM	GLM	GLMM
Hindernis vorhanden	***	***				
Zaun und/oder Leitplanke vorhanden			***	***	***	
Bankett vorhanden					***	
übrige Hindernis vorhanden			***	***		
Vegetationstyp Rasen, Wiese		*		*		
Vegetationstyp Saum						
Deckung der Vegetation >75%	***	**	***	**	***	
Siedlungsanteil in Umgebung < 20%	**		**		**	
Entwässerung über die Schulter	***	***	***	***	***	
Intensivstreifen	***	***	***	***	***	
Vegetation <10 Jahre alt						

Keine Auswertung möglich

4.3.4 Zusammenfassung

Folgende Faktoren sind typisch für das Vorkommen von *Senecio*:

- Kommt in allen Vegetationstypen ohne Gehölze vor
- Fehlt in Gehölzen
- Findet sich selbst auf befestigten Flächen häufig
- Konzentriert sich im Bereich von Hindernissen und im Bankett
- Bevorzugt eher lockere Bestände
- Tritt häufig im Intensivstreifen auf
- Tritt bei gefassten Entwässerungen häufiger auf als bei Entwässerungen über die Schulter



Abb. 16 Ein typischer Standort von *Senecio*, der mehrere der Faktoren aufweist, die das Vorkommen der Art begünstigen: gefasste Entwässerung, Leitplanke als Hindernis, Bankett mit vielen unbewachsenen Stellen.



Abb. 17 *Senecio* erreicht mit seinen flugfähigen Samen jede Ritze und setzt sich dort fest (links). Vegetationstypen mit Lücken sind ein bevorzugter Standort für *Senecio*. Es kann dort sehr zahlreich auftreten (rechts).



Abb. 18 Ein typischer Standort von *Senecio*. Eine gefasste Entwässerung mit einem Wulst, kombiniert mit einer Leitplanke. Beide können maschinell nicht sauber gemäht werden, was von *Senecio* als Standort genutzt wird. *Senecio* verträgt das Mähen sehr gut und blüht schon kurze Zeit nach einem Mähdurchgang erneut (links). Auch in Zäunen setzt sich *Senecio* fest und kann maschinell nicht wirksam bekämpft werden (rechts).

4.4 *Erigeron annuus* / Einjähriges Berufskraut

4.4.1 Vorkommen in den Vegetationstypen

Erigeron tritt bevorzugt in Rasen, Wiesen und Magerwiesen auf, aber auch auf befestigten Flächen. In den übrigen Vegetationstypen tritt die Neophyten-Art relativ selten auf.

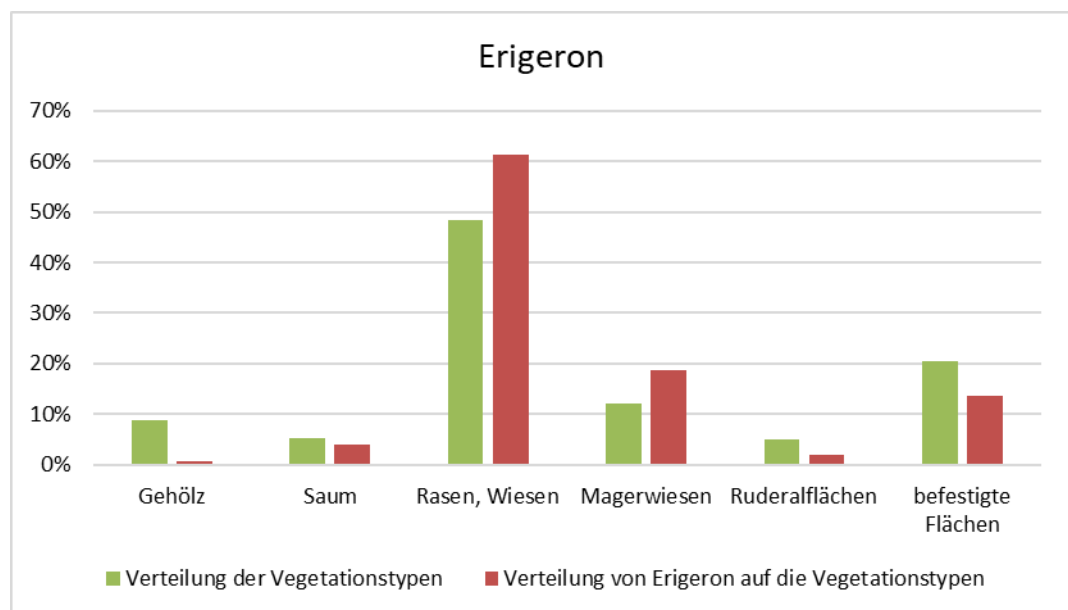


Abb. 19 Verteilung des Vorkommens von *Erigeron* auf die verschiedenen Vegetationstypen.

4.4.2 Deckungsgrad

Erigeron tritt relativ häufig als Einzelpflanze oder in einer geringen Deckung auf. Das dürfte mit ihrer Bevorzugung von Vegetationstypen mit einer eher geschlossenen Vegetationsdecke zu tun haben. Dort finden sich nur verstreut Lücken für die Keimung. Der geringe Deckungsgrad dürfte aber auch damit zusammenhängen, dass diese einjährige Pflanze zur Erfassungszeit in den Monaten Mai bis Juli eher noch wenig entwickelt war und allenfalls nicht immer erfasst worden ist.

Tab. 16 Verteilung der erfassten Vorkommen von *Erigeron* auf die unterschiedlichen Deckungsgrade.

Einzelepflanze	1-5%	5-25%	über 25%
11%	68%	17%	4%

4.4.3 Modellierung mit GLM und GLMM

Für *Erigeron* konnten vier Modelle gerechnet werden. In allen zeigt sich, dass *Erigeron* im Bereich von Hindernissen kaum auftritt.

In den Modellen zeigt sich – im Gegensatz zur Verteilung der Erfassungen – keine Präferenz von *Erigeron* für bestimmte Vegetationstypen.

Bezüglich Vorkommen in bestimmten Umgebungen und in Intensivstreifen, zeigen die GLM und GLMM Modelle kein einheitliches Bild. Bei der Auswertung mit GLM scheint *Erigeron* eher landwirtschaftlich geprägte Umgebungen zu bevorzugen – bei GLMM zeigt sich hierzu keine Bevorzugung. Bei der Auswertung mit GLMM scheint *Erigeron* Intensivstreifen zu bevorzugen, was sich bei GLM nicht zeigt.

Tab. 17 Resultate der unterschiedlichen Modelle zum Vorkommen von *Erigeron*. Die grau hinterlegten Felder wurden im jeweiligen Modell nicht berechnet.

grün = positiver Einfluss, rot = negativer Einfluss, ohne Farbe = kein Einfluss

* / ** / *** = Mass für die Bedeutung (Signifikanz) des entsprechenden Parameters

	Modell mit einem Hindernistyp		gesplittetes Modell zwei Hindernistypen		gesplittetes Modell drei Hindernistypen	
	GLM	GLMM	GLM	GLMM	GLM	GLMM
Hindernis vorhanden	**	**			Keine Auswertung möglich	Keine Auswertung möglich
Zaun und/oder Leitplanke vorhanden			***	***		
Bankett vorhanden						
übrige Hindernis vorhanden						
Vegetationstyp Rasen, Wiese						
Vegetationstyp Saum						
Deckung der Vegetation >75%						
Siedlungsanteil in Umgebung < 20%	**		**			
Entwässerung über die Schulter						
Intensivstreifen		*		.		
Vegetation <10 Jahre alt						

4.4.4 Zusammenfassung

Folgende Faktoren sind typisch für das Vorkommen von *Erigeron*:

- Findet sich gehäuft in Rasen, Wiesen und Magerwiesen
- Kommt in Gehölzen nicht vor
- Kommt kaum vor in Flächen mit Hindernissen



Abb. 20 Ein typischer Standort von *Erigeron* auf einer Wiese. Vor der Blütezeit zwischen Juli und September ist die Art wenig auffällig.



Abb. 21 Jungpflanzen von *Erigeron*. Die Art kann innerhalb eines Jahres keimen und zur Blüte kommen (links). *Erigeron* im Herbst auf einer Wiese, die spät gemäht wird (rechts).

4.5 *Solidago canadensis* aggr. / Kanadische Goldruten

4.5.1 Vorkommen in den Vegetationstypen

Solidago tritt bevorzugt in Säumen, Rasen, Wiesen und Magerwiesen auf. In den übrigen Vegetationstypen tritt die Art relativ selten auf

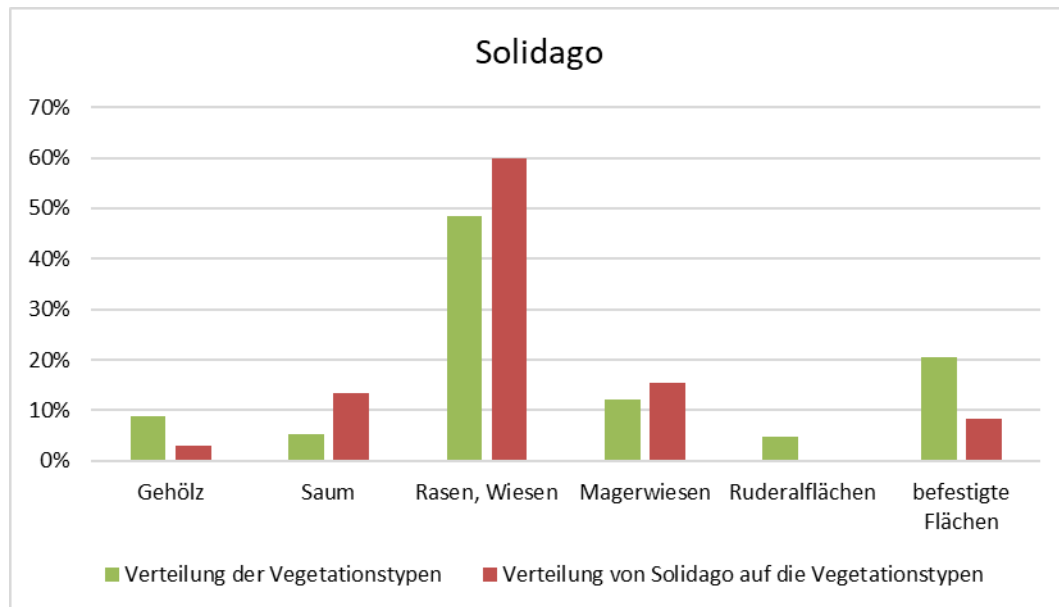


Abb. 22 Verteilung des Vorkommens von *Solidago* auf die verschiedenen Vegetationstypen.

4.5.2 Deckungsgrad

Das häufigste Auftreten von *Solidago* findet sich bei einem geringen Deckungsgrad von 1-5%. Das dürfte damit zusammenhängen, dass *Solidago* rasch kleinere Gruppen mit mehreren Trieben bilden kann.

Tab. 18 Verteilung der erfassten Vorkommen von *Solidago* auf die unterschiedlichen Deckungsgrade.

Einzelpflanze	1-5%	5-25%	über 25%
6%	51%	26%	18%

4.5.3 Modellierung mit GLM und GLMM

Solidago konnte nur in zwei Modellen ausgewertet werden. Für die übrigen Modelle sind zu wenig Daten erfasst worden.

Beide Auswertungen zeigen, dass *Solidago* in jüngeren Grünräumen selten zu finden ist. Die Art braucht offenbar einige Jahre, bis sie sich festsetzen kann. Dies gilt, obwohl sich *Solidago* auch mit Flugsamen vermehren kann.

Bezüglich Vegetationstyp und Intensivstreifen stimmen die beiden Auswertungen nicht überein. GLM zeigt eine Meidung von Rasen und Wiesen, was bei GLMM nicht als signifikant ausgewiesen wurde. GLMM zeigt eine Meidung von Intensivstreifen, was auf der anderen Seite bei GLM nicht als signifikant ausgewiesen wurde.

Tab. 19 Resultate der unterschiedlichen Modelle zum Vorkommen von *Solidago*. Die grau hinterlegten Felder wurden im jeweiligen Modell nicht berechnet.

grün = positiver Einfluss, rot = negativer Einfluss, ohne Farbe = kein Einfluss

* / ** / *** = Mass für die Bedeutung (Signifikanz) des entsprechenden Parameters

	Modell mit einem Hindernistyp		gesplittetes Modell zwei Hindernistypen		gesplittetes Modell drei Hindernistypen	
	GLM	GLMM	GLM	GLMM	GLM	GLMM
Hindernis vorhanden			Keine Auswertung möglich	Keine Auswertung möglich	Keine Auswertung möglich	Keine Auswertung möglich
Zaun und/oder Leitplanke vorhanden						
Bankett vorhanden						
übrige Hindernis vorhanden						
Vegetationstyp Rasen, Wiese	**					
Vegetationstyp Saum						
Deckung der Vegetation >75%						
Siedlungsanteil in Umgebung < 20%						
Entwässerung über die Schulter						
Intensivstreifen		**				
Vegetation <10 Jahre alt	**	**				

4.5.4 Zusammenfassung

Folgende Faktoren sind typisch für das Vorkommen von *Solidago*:

- Findet sich gehäuft im Saum (Übergangsbereich zwischen Wiesen und Gehölzen)
- Kommt in Gehölzen und Ruderalflächen kaum vor
- Findet sich eher in älteren Grünräumen



Abb. 23 Ein typischer Standort von *Solidago* am Rande eines älteren Gehölzes.



Abb. 24 Horste von *Solidago* in einem Einschnitt, der durch den Wald führt (links). Das typische Bild von *Solidago*: Horste mit mehreren Trieben (rechts).

4.6 *Rubus armeniacus* / Armenische Brombeere

4.6.1 Vorkommen in den Vegetationstypen

Das Vorkommen von *Rubus* konzentriert sich auf Gehölze und Säume. Daneben ist *Rubus* auch auf Wiesen zu finden. Dabei handelt es sich meist um weit ausgreifende Schösslinge von Vorkommen in angrenzenden Gehölzen. Wenig vertreten ist die Art in den anderen Vegetationstypen.

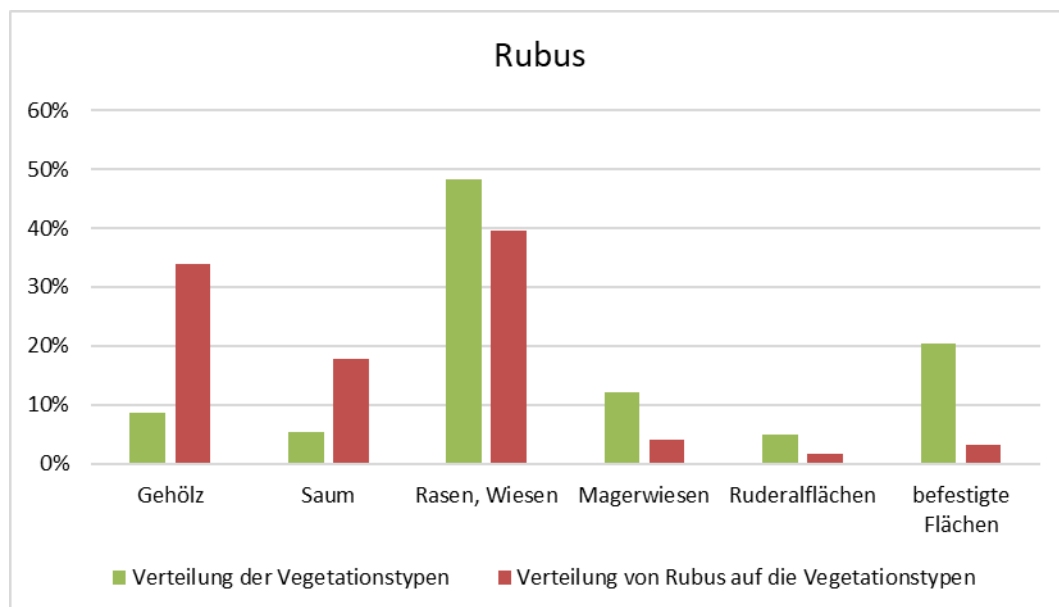


Abb. 25 Verteilung des Vorkommens von *Rubus* auf die verschiedenen Vegetationstypen.

4.6.2 Deckungsgrad

Rubus wurde wie alle anderen Arten am häufigsten mit einer Deckung von 1-5% gefunden. Obwohl *Rubus* auch Flächen ganz überwachsen kann und dann dort dominiert, wurde die Art nur selten mit einer Deckung von mehr als 25% gefunden. Das könnte mit dem regelmässigen jährlichen Unterhalt zu tun haben, mit dem die Art zurückgeschnitten wird und dann in der ersten Jahreshälfte noch kein flächendeckendes Vorkommen aufweist.

Tab. 20 Verteilung der erfassten Vorkommen von *Rubus* auf die unterschiedlichen Deckungsgrade.

Einzelpflanze	1-5%	5-25%	über 25%
15%	52%	27%	7%

4.6.3 Modellierung mit GLM und GLMM

Als einzige Art, die auch in Gehölzen regelmässig angetroffen wurde, konnte das Vorkommen von *Rubus* sowohl für Vegetationstypen ohne Gehölze als auch für Gehölze ausgewertet werden.

Vegetationstypen ohne Gehölze

Drei von vier Modellen, die für *Rubus* in Vegetationstypen ohne Gehölze erstellt werden konnten, zeigen dass *Rubus* Hindernisse meidet. Auch klar ausgewiesen wird, dass *Rubus* in Intensivstreifen nicht auftritt.

Im Übrigen sind die Aufwertungen von GLM und GLMM nicht einheitlich. GLM zeigt ein Meiden von Rasen und Wiesen, GLMM eine Präferenz für Säume und von älterer Vegetation. Das dürfte damit zusammenhängen, dass es einige Jahre dauert, bis Vögel Samen von *Rubus* in neue Grünräume eingetragen haben.

Tab. 21 Resultate der unterschiedlichen Modelle zum Vorkommen von *Rubus* in den Vegetationstypen ohne Gehölze. Die grau hinterlegten Felder wurden im jeweiligen Modell nicht berechnet.

grün = positiver Einfluss, rot = negativer Einfluss, ohne Farbe = kein Einfluss

* / ** / *** = Mass für die Bedeutung (Signifikanz) des entsprechenden Parameters

	Modell mit einem Hindernistyp		gesplittetes Modell zwei Hindernistypen		gesplittetes Modell drei Hindernistypen	
	GLM	GLMM	GLM	GLMM	GLM	GLMM
Hindernis vorhanden	*	*			Keine Auswertung möglich	Keine Auswertung möglich
Zaun und/oder Leitplanke vorhanden						
Bankett vorhanden						
übrige Hindernis vorhanden			*			
Vegetationstyp Rasen, Wiese	**		**			
Vegetationstyp Saum		*		*		
Deckung der Vegetation >75%						
Siedlungsanteil in Umgebung < 20%						
Entwässerung über die Schulter						
Intensivstreifen	*	**	*	***		
Vegetation <10 Jahre alt		*		*		

Gehölze

Auch diese Auswertung zeigt, dass *Rubus* jüngere Grünräume meidet und ältere bevorzugt.

Tab. 22 Resultate der unterschiedlichen Modelle zum Vorkommen von *Rubus* in den Vegetationstypen ohne Gehölze.

grün = positiver Einfluss, rot = negativer Einfluss, ohne Farbe = kein Einfluss

* / ** / *** = Mass für die Bedeutung (Signifikanz) des entsprechenden Parameters

	Modell mit einem Hindernistyp	gesplittetes Modell zwei Hindernistypen	gesplittetes Modell drei Hindernistypen
	GLM	GLM	GLM
Hindernis vorhanden		Keine Auswertung möglich	Keine Auswertung möglich
Intensivstreifen			
Siedlungsanteil in Umgebung < 20%			
Vegetation <10 Jahre alt	**		
Kronenschluss >60%			
Lichteinfall von der Seite gross			

4.6.4 Zusammenfassung

Folgende Faktoren sind typisch für das Vorkommen von *Rubus*:

- Ist die einzige der vier untersuchten Arten mit einer klaren Bevorzugung von Gehölzen
- Findet sich gehäuft im Gehölz und im Saum (Übergangsbereich zwischen Wiesen und Gehölzen)
- Meidet Rasen, Wiesen, Magerwiesen und Ruderalflächen
- Findet sich eher in älteren Gehölzen
- Kommt im Bereich von Hindernissen kaum vor



Abb. 26 Ein typischer Standort von *Rubus* in und am Rande eines älteren Gehölzes, das an eine Wiese grenzt.



Abb. 27 *Rubus* kann in Gehölzen hochranken und im Herbst Schösslinge ausbilden, die weit aufgreifen, erschlaffen und anwurzeln (links). Eine von *Rubus* dominierte Fläche, wie sie im Projekt selten angetroffen wurde (rechts).

4.7 Vergleich der vier Arten

Nachfolgend sind die Resultate der verschiedenen Auswertungen nebeneinander dargestellt. Die Darstellung fasst die detaillierten Auswertungen zu den einzelnen Arten für die Auswertungen in den Vegetationstypen ohne Gehölze zusammen. Bestehen mehrere Auswertungen pro Modell und Art sind hier nur diejenigen Einflüsse dargestellt, die mehrheitlich übereinstimmen. Dargestellt sind die bedeutenden (signifikanten) Einflüsse. Das Mass der Bedeutung ist nicht dargestellt.

4.7.1 Vorkommen in den Vegetationstypen

Eine erste Analyse über das Vorkommen der vier untersuchten Neophytenarten zu deren Verteilung auf die Vegetationstypen zeigt folgendes Bild.

Tab. 23 Die Verteilung des Vorkommens der vier untersuchten Arten in den verschiedenen Vegetationstypen. Orange: Häufigkeit des Vorkommens unterdurchschnittlich (weniger als die Hälfte des Durchschnitts). Grün: Häufigkeit des Vorkommens über dem Durchschnitt.

Vegetationstyp und Anzahl Erfassungen des Vegetationstyps		Senecio		Erigeron		Solidago		Rubus	
		Anzahl Funde	Anteil im Vegetationstyp	Anzahl Funde	Anteil im Vegetationstyp	Anzahl Funde	Anteil im Vegetationstyp	Anzahl Funde	Anteil im Vegetationstyp
Gehölz	198	0	0.0%	1	0.5%	3	1.5%	42	21.2%
Saum	121	16	13.2%	6	5.0%	13	10.7%	22	18.2%
Rasen, Wiesen	1095	234	21.4%	95	8.7%	58	5.3%	49	4.5%
Magerwiesen	275	64	23.3%	29	10.5%	15	5.5%	5	1.8%
Ruderalflächen	111	41	36.9%	3	2.7%	0	0.0%	2	1.8%
befestigte Flächen	464	104	22.4%	21	4.5%	8	1.7%	4	0.9%
Total	2264	459		155		97		124	
Durchschnitt			20.3%		6.8%		4.3%		5.5%

Auf Grund der obigen Tabelle lassen sich folgende Aussagen machen:

- **Senecio:** Tritt in Gehölzen nicht auf. Ist sonst aber ziemlich regelmässig in allen Vegetationstypen und auch in Ritzen von befestigten Flächen zu finden.
- **Erigeron:** Tritt in Gehölzen praktisch nicht auf und ist auch auf Ruderalflächen eher wenig vertreten. Überdurchschnittlich oft ist *Erigeron* aber in Wiesen und Magerwiesen zu finden.
- **Solidago:** Fehlt in Ruderalflächen und ist in Gehölzen und auf befestigten Flächen kaum vertreten. Das Hauptauftreten von *Solidago* findet sich im Saum. Daneben ist die Art aber auch in Wiesen und Magerwiesen zu finden.
- **Rubus:** Das Vorkommen konzentriert sich auf Gehölze und Säume. Daneben ist *Rubus* auch auf Wiesen zu finden (meist weit ausgreifende Schösslinge aus Vorkommen in Gehölzen). Wenig vertreten ist die Art in den anderen Vegetationstypen.

4.7.2 Deckungsgrad der untersuchten Arten

Die Auswertung der Deckungsgrade, die bei der Erfassung angetroffen wurden, zeigt, dass alle vier untersuchten Arten selten als Einzelpflanzen vorgefunden werden. Für alle vier Arten ist eine Deckung von 1-5% das am häufigsten erfasste Auftreten. Die Verteilung der Deckungsgrade von mindestens 5% zeigt für *Senecio*, *Solidago* und *Rubus* ein ähnliches Bild: Kommen diese Arten vor, so haben sie oft einen hohen Anteil am Pflanzenbestand. *Erigeron* hingegen ist oft in eher lockeren Beständen anzutreffen. Dies könnte mit dem Erfassungszeitraum von Mai bis Juli zusammenhängen, in dem die Pflanzen oft noch unscheinbar sind.

Tab. 24 Verteilung der untersuchten Arten über die vier unterschiedlichen Deckungsgrade.

Deckungsgrad		Senecio	Erigeron	Solidago	Rubus
	Einzelpflanze	3%	11%	6%	15%
	1-5%	41%	68%	51%	52%
	5-25%	34%	17%	26%	27%
	über 25%	21%	4%	18%	7%

4.7.3 Modellierung mit GLM und GLMM

Der Vergleich der Arten macht das unterschiedliche Vorkommen der vier untersuchten Arten deutlich. So zeigt sich zum Beispiel klar, dass *Senecio* im Bereich von Hindernissen häufig anzutreffen ist, während *Erigeron* und *Rubus* diese meiden.

Es zeigt sich auch klar, dass für *Senecio* als häufigste Art, mehr Aussagen zum Auftreten gemacht werden können als bei den anderen drei Arten, die rund dreimal weniger häufig angetroffen wurden.

Tab. 25 Resultate der unterschiedlichen Modelle zum Vorkommen der vier untersuchten Neophytenarten. grün = positiver Einfluss, rot = negativer Einfluss

	Senecio		Erigeron		Solidago		Rubus	
	GLM	GLMM	GLM	GLMM	GLM	GLMM	GLM	GLMM
Hindernis vorhanden								
Zaun und/oder Leitplanke vorhanden								
Bankett vorhanden								
übrige Hindernis vorhanden								
Vegetationstyp Rasen, Wiese								
Vegetationstyp Saum								
Deckung der Vegetation >75%								
Siedlungsanteil in Umgebung < 20%								
Entwässerung über die Schulter								
Intensivstreifen								
Vegetation <10 Jahre alt								

4.7.4 Zusammenfassung



Senecio

- Kommt in allen Vegetationstypen ohne Gehölze vor
- Fehlt in Gehölzen
- Findet sich selbst auf befestigten Flächen häufig
- Konzentriert sich im Bereich von Hindernissen und im Bankett
- Bevorzugt eher lockere Bestände
- Tritt häufig im Intensivstreifen auf
- Tritt bei gefassten Entwässerungen häufiger auf als bei Entwässerungen über die Schulter



Erigeron

- Findet sich gehäuft in Rasen, Wiesen und Magerwiesen
- Kommt in Gehölzen nicht vor
- Kommt kaum vor in Flächen mit Hindernissen



Solidago

- Findet sich gehäuft im Saum (Übergangsbereich zwischen Wiesen und Gehölzen)
- Kommt in Gehölzen und Ruderalflächen kaum vor
- Findet sich eher in älteren Grünräumen



Rubus

- Ist die einzige der untersuchten vier Arten mit einer klaren Bevorzugung von Gehölzen
- Findet sich gehäuft im Gehölz und im Saum (Übergangsbereich zu Gehölzen)
- Kommt kaum vor in Rasen, Wiesen, Magerwiesen und Ruderalflächen
- Findet sich eher in älteren Gehölzen
- Kommt im Bereich von Hindernissen kaum vor

Abb. 28 Gegenüberstellung der typischen Eigenschaften der vier untersuchten Neophytenarten.

5 Überprüfung der Hypothesen

Die Überprüfung der Hypothesen des Forschungsprojektes hat einige bestätigt, andere hingegen liessen sich nicht bestätigen. Nachfolgend werden diejenigen Befunde aufgeführt, die gemäss Auswertung der erfassten Daten einen Zusammenhang zwischen Vorkommen einer Art und den jeweiligen Aussagen in den Hypothesen zeigen.

5.1 Hypothesen im Einzelnen

5.1.1 Hypothese 1: Vegetationstyp

Hypothese: Standortfaktoren wie Exposition, Vegetationstyp (Gehölz – nicht Gehölz) sind wichtige Lebensraumbedingungen, die für die Projektierung zu berücksichtigen sind.

Beurteilung: Wirklich verlässliche Auswertungen liessen sich nur zu den bevorzugten Vegetationstypen der vier untersuchten Neophyten-Arten machen. Die übrigen Standortfaktoren haben keine klaren Präferenzen gezeigt oder waren nicht auszuwerten. Die vier untersuchten Arten bevorzugten folgende Vegetationstypen (vgl. auch Kapitel 4.3 bis 4.6):

- **Senecio:** Ist in keinen einzigen Fall in einem Gehölz angetroffen worden. Im Übrigen ist *Senecio* aber in allen Vegetationstypen zu finden. Selbst auf befestigten Flächen findet sich *Senecio* häufig in Ritzen und Spalten.
- **Erigeron:** Fehlt ebenfalls in Gehölzen und besiedelt Ruderalflächen nur selten. Der Schwerpunkt des Vorkommens liegt in Wiesen und Magerwiesen.
- **Solidago:** Fehlt in Ruderalflächen vollständig und findet sich in Gehölzen und auf befestigten Flächen selten. Hat einen klaren Schwerpunkt im Übergang von Gehölzen in Wiesen sowie in Wiesen und Magerwiesen.
- **Rubus:** Konzentriert sich in Gehölzen und deren Übergänge zu Wiesen.

5.1.2 Hypothese 2: Vegetationsschluss

Hypothese: Verletzungen der Vegetationsnarbe, vor allem durch den Unterhalt, begünstigen das Aufkommen von invasiven Neophyten.

Beurteilung: Verletzungen der Vegetationsnarbe durch den Unterhalt sind kaum anzutreffen. Hingegen konnte gezeigt werden, dass locker bewachsene Flächen das Vorkommen von *Senecio* begünstigt.

5.1.3 Hypothese 3: Alter der Fläche

Hypothese: Das Alter einer Fläche beeinflusst das Vorkommen von invasiven Neophyten.

Beurteilung: Für *Solidago* und *Rubus* konnte gezeigt werden, dass diese Flächen bevorzugten, die älter als 10 Jahre sind.

5.1.4 Hypothese 4: Maschineneinsatz erschwert

Hypothese: Dort wo mit Maschinen nicht sauber ausgemäht werden kann, kommen Neophyten bevorzugt vor (Zaun, Leitplanke, Kanten, Ritzen, Einbauten, usw.).

Beurteilung: Für *Senecio* konnte nachgewiesen werden, dass deren Vorkommen durch alle Arten von Hindernissen begünstigt wird. Für *Rubus* ist nachgewiesen, dass Hindernisse deren Vorkommen hemmen. Dieser negative Einfluss von Hindernissen auf das Vorkommen von *Rubus* dürfte aber methodisch begründet sein. Die erfassten Gehölze und Übergänge zwischen Gehölzen und Wiesen – die Hauptvorkommen von *Rubus* – wurden von der Autobahnseite her beurteilt, und zwar nur soweit sie einsehbar waren. Damit sind bei Hecken kaum Hindernisse miterfasst worden.

5.1.5 Hypothese 5: Entwässerungstyp

Hypothese: Die Entwässerung über die Schulter ist ein wichtiger Faktor für das Vorkommen von Neophyten.

Beurteilung: Entgegen den Vermutungen der Unterhaltsdienste konnte gezeigt werden, dass Entwässerungen über die Schulter das Vorkommen der untersuchten vier Arten nicht fördern. Für *Senecio* konnte gar gezeigt werden, dass diese Art bei Entwässerungen über die Schulter weniger auftritt.

5.1.6 Hypothese 6: Umgebung

Hypothese: Der Einflug von Samen aus der Nachbarschaft, insbesondere in Siedlungsgebieten, begünstigt das Aufkommen von invasiven Neophyten.

Beurteilung: Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Bodenbedeckung in der Umgebung (eher siedlungsgeprägt oder eher landwirtschaftsgeprägt) gezeigt werden.

5.1.7 Hypothese 7: Bekämpfungsmassnahmen der Unterhaltsdienste

Hypothese: Die Bekämpfungsmassnahmen der Unterhaltsdienste beeinflussen das Vorkommen von invasiven Neophyten.

Beurteilung: Es hat sich als unmöglich erwiesen, die Bekämpfungsmassnahmen der Unterhaltsdienste in den vergangenen Jahren systematisch zu erfassen. Damit war auch keine Auswertung dazu möglich.

5.1.8 Hypothese 8: Aufbau des Bodens mit oder ohne Humus

Hypothese: Der Aufbau des Bodens mit und ohne Humus ist ein wichtiger Standortfaktor für das Vorkommen von invasiven Neophyten.

Beurteilung: Im Rahmen der Vorarbeiten zum Projekt hat sich herausgestellt, dass die Erfassung von Daten zum Humusgehalt im Rahmen des Projektes zu aufwendig ist. Aus diesem Grund wurden diese nicht erhoben. Eine Aussage ist damit nicht möglich.

5.2 Zusammenfassung

Tab. 26 Zusammenfassende Darstellung der Befunde aus der Überprüfung der Hypothesen. grün = These bestätigt – positiver Einfluss, rot = These bestätigt – negativer Einfluss.

Hypothese	Kriterium	Senecio	Erigeron	Solidago	Rubus
1 Vegetationsyp	Gehölz				
2 Vegetationsschluss	Deckung Vegetation > 75%				
3 Alter der Fläche	Vegetation < 10 Jahre alt				
4 Maschineneinsatz erschwert	Hindernisse				
5 Entwässerungstyp	Entwässerung über die Schulter				
6 Umgebung	Siedlungsanteil < 20%				
7 Bekämpfungsmassnahmen	Kein direktes Kriterium	keine Aussage möglich			
8 Bodens mit oder ohne Humus	Kein direktes Kriterium	keine Aussage möglich			

6 Diskussion

6.1 Feldarbeit

6.1.1 Jahreszeitlicher Einfluss

Trotz sorgfältiger Vorbereitung und Erstellung eines Erfassungsmanuals unterliegen Felderfassungen den jahreszeitlichen Entwicklungen der Vegetation. Tendenziell dürften daher die folgenden Faktoren einen Einfluss auf die Erfassung gehabt haben:

- Die Teststrecken, die früh im Jahr aufgenommen wurden, unterschätzen tendenziell den Deckungsgrad der Neophyten.
- Skelett und Deckungsgrad der Vegetation, die früh im Jahr erfasst wurden, sind eher überschätzt im Vergleich zu Erfassungen später im Jahr. Grundsätzlich ist ein Einmitten über die gesamte Vegetationsdauer zu erwarten.

Dieselben Aussagen gelten auch für frisch geschnittene Flächen. Diese fanden sich im fahrbahnnahen Bereich, bei dem ein Säuberungsschnitt aus Sicherheitsgründen vorgenommen werden musste.

6.1.2 Beobachtungen bei der Felderfassung

Bei der Erhebung wurden Unterschiede in Vorkommen der Neophyten zwischen der Fahrtrichtung und vorherrschenden Windrichtung beobachtet. Dies wurde auch von Unterhaltsdiensten entsprechend so beobachtet. So weist zum Beispiel auf dem Teststreckenabschnitt 15 (A7, Kanton TG) die Fahrtrichtung Zürich ein grösseres Vorkommen von *Senecio* auf als die Fahrtrichtung Konstanz. Als Erklärung vermuten die Unterhaltsdienste die vorherrschenden Winde aus Richtung Bodensee.

Einen analogen Einfluss wurde von den Unterhaltsverantwortlichen für die A4 berichtet. Hier werden häufig Heu und Stroh von Deutschland in die Schweiz verfrachtet. Die Fahrtrichtung Winterthur weist eine höhere Dichte von Neophyten auf. Die Unterhaltsverantwortlichen machen dafür die erwähnten Transporte und den damit zusammenhängenden Sameneintrag verantwortlich.

An Stellen, bei denen die Neophytenaufkommen im Mittelstreifen hoch sind, finden sich dieselben Arten auch gehäuft auf den beprobten Seitenflächen.

Auf dem Teststreckenabschnitt 11 (A16, BE) wurden keine Neophyten festgestellt. Bei der Auswertung und auf Grund der Beobachtungen konnten keine signifikanten Unterschiede zu den anderen Teststreckenabschnitten gefunden werden, die diesen Befund erklären würden.

6.1.3 Methodik der Erfassung

Die Methodik der Erfassung hat sich als relativ aufwendig herausgestellt. Dies auch im Hinblick darauf, dass für die Modellierung – abgesehen von den Daten für *Senecio* – eher wenig Daten mit Vorkommen von Neophyten vorhanden waren.

Für die Erfassung in einem zukünftigen Projekt schlagen wir zwei Optimierungen vor:

- Der Detaillierungsgrad der erfassten Parameter sollte möglichst reduziert werden. Dieser Schritt wurde im vorliegenden Projekt nachträglich gemacht. Bei einer Vereinfachung der Erfassung mit weniger Parametern, könnte der Zeitbedarf für die einzelne Erfassung reduziert werden.

- Es wäre zu prüfen, ob eine Erfassung mit optischen Mitteln, zum Beispiel mit Drohnen, zu einer grösseren Datenmenge in gleicher Zeit führen würde. Dabei müsste aber auch abgewogen werden, wieviel qualitative Information (Beobachtungen vor Ort, Gespräche mit Unterhaltsverantwortlichen) verloren gingen.

Grundsätzlich müsste auch überlegt werden, welche Aussagen für das Vorkommen auf befestigten Flächen sinnvoll sind und wie die entsprechenden Daten erfasst werden können. Mit den im Projekt erhobenen Daten kann lediglich gezeigt werden, dass befestigte Flächen ebenfalls eine erhebliche Zahl von Neophyten – vor allem *Senecio* – beherbergen.

6.2 Modellierung

6.2.1 Generelles

Die Resultate der GLM Auswertung zeigen eine klare Tendenz und erlauben Variablen zu identifizieren, welche für das Vorhandensein oder Fehlen der vier ausgewählten Arten entlang der Teststreckenabschnitte einen Einfluss haben. Das pseudo R^2 als Mass für die Modellqualität ist aber mit maximal knapp 10% für *Senecio* gering. Die identifizierten Prädiktoren haben somit einen Einfluss, sind aber nicht alleine ausschlaggebend für das Vorkommen oder Fehlen der Art.

Letztendlich erlaubte die Studie wichtige Prädiktoren zu identifizieren und daraus mögliche Massnahmen zur Prävention zu definieren. Eine mathematische Vorhersage mittels Model ist aber nur beschränkt möglich und anwendbar. Das kann mehrere Gründe haben:

- Wichtige Faktoren, die für das Vorkommen entscheidend sind, konnten nicht erfasst werden. Beispiele: die Distanz zu bereits etablierten Populationen, Wind (Vorkommen, Stärke, Richtung), Fahrtwind, Konkurrenzdruck, Umweltfaktoren (Ausrichtung, Neigung, Klima, Sonneneinstrahlung etc.), Frequenz der Strasse (weniger Verkehr = weniger Ausbreitung?), Bekämpfungsmassnahmen oder Bautätigkeit.
- Betrachtet man den Lebensraum nach Delarze und die Zeigerwerte nach Landolt wird ersichtlich, dass beispielsweise *Senecio* nicht strikt an einen Lebensraum gebunden ist und die Ausbreitung bei verschiedenen Bedingungen und in verschiedene Lebensräume möglich ist. Dies erschwert eine zuverlässige Vorhersage.

Die aufgezählten Gründe sind ein Zeichen dafür, dass unser Verständnis des Zusammenhangs von Umweltfaktoren, Verbreitung und zuverlässigen Prädiktoren noch ungenügend ist.

6.2.2 Vergleich GLM und GLMM

Die beiden Modelle zeigen ein relativ einheitliches Bild. Sie stützen somit im Wesentlichen die jeweiligen Aussagen des anderen Modells. Eine Differenz besteht beim Siedlungsanteil der Umgebung, der bei den GLMM nicht mehr von Bedeutung ist.

Insgesamt zeigt das gemischte Modell (GLMM) eine etwas höhere Modellqualität. Die Aussagen des gemischten Modells haben deswegen eine grössere Relevanz und können die relevanten Prädiktoren etwas besser erklären.

6.3 Vergleich mit der Literatur

6.3.1 Bedeutung des humosen Oberbodens

Aussage: In einer Studie an 16 revitalisierten Flüssen der Schweiz (Haag et al., 2013) bedeckten auf humosem Oberboden invasive Neophyten im Mittel 5,9 %, auf Rohboden aber nur 1,3 % der untersuchten Flächen. Vorkommen und Häufigkeit der verschiedenen Neophytenarten waren an den 16 untersuchten Flüssen sehr unterschiedlich. Die Untersuchung zeigte, dass durch Revitalisierungen verursachte Störungen und humose Böden für Neophyten besonders förderlich sind.

Forschungsergebnisse: Im Projekt war die Unterscheidung zwischen humosen Böden und Rohböden nicht möglich, da beim Bau von Nationalstrassen in der Regel begrünt wird und damit keine Rohböden vorhanden waren.

Im vorliegenden Projekt zeigt sich aber auch, dass die Häufigkeit des Auftretens stark von der betrachteten Art abhängt.

6.3.2 Alter der Flächen

Aussage: Gemäss Haag et al. (2013) waren auf erst vor kurzem revitalisierten Abschnitten die durchschnittliche Artenzahl und der Anteil besiedelter Flächen grösser als auf Flächen, die vor sechs oder mehr Jahren revitalisiert wurden oder gar auf nicht revitalisierten Abschnitten.

Denselben Zusammenhang zwischen Reifegrad einer Fläche und Vorkommen von invasiven Neophyten zeigt auch Kowarik (2010) auf.

Forschungsergebnisse: Auch hier kann keine pauschale Aussage gemacht werden. Die Präferenz für jüngere bzw. ältere Flächen ist abhängig von der jeweiligen Art.

6.3.3 Abhängigkeit von der Umgebung

Aussage: In der Literatur (Haag et al., 2013 und Kowarik, 2010) finden sich einige wenige Angaben, dass das Vorkommen von invasiven Neophyten stark von der Umgebung abhängig ist. Insbesondere zeigt Kowarik auf, dass urbane Gebiete ein grösseres Potential aufweisen und damit das Vorkommen beeinflussen können.

Forschungsergebnisse: Im Projekt wurde kein Zusammenhang mit der Umgebung gefunden. Es gibt keine Präferenz der untersuchten vier Arten für urbane Gebiete. Nobis et al. (2020) konnten für das Auftreten von *Senecio* ebenfalls keinen Zusammenhang mit urbanen Gebieten feststellen.

6.3.4 Einfluss des Fahrtwindes

Aussage: Die gerichtete Nahausbreitung von *Senecio inaequidens* wird durch den Fahrtwind begünstigt. Mit Anhaftung der Diasporen an Fahrzeugen kann die Art auch über grössere Distanzen verschleppt werden. Der Verkehr spielt somit eine grosse Rolle als Ausbreitungsvektor in der Massenausbreitung der letzten Jahrzehnte. 85% aller Neufunde sind weniger als 500 m von bekannten Fundorten entfernt (Fornat, 2016).

Forschungsergebnisse: Im Projekt wurde keine Abhängigkeit der Verbreitung und der Häufigkeit des Auftretens vom Fahrtwind untersucht. Hingegen legen die Beobachtungen der Unterhaltsdienste und der Kartiererin einen solchen Zusammenhang durchaus nahe.

6.4 Vergleich mit den Angaben bei Info Flora

Info Flora publiziert Infoblätter zu den invasiven Neophyten, die zahlreiche Informationen enthalten wie die Verbreitung in der Schweiz, Erkennungsmerkmale, Vermehrung, Auswirkungen auf Mensch und Umwelt und Bekämpfungsmöglichkeiten (<https://www.infoflora.ch/de/neophyten/listen-und-infoblätter.html>).

Nachfolgend werden für jede der vier untersuchten Arten die Ansprüche an den Standort gemäss den Infoblättern kurz zusammengefasst und mit den Ergebnissen des Forschungsprojektes verglichen.

6.4.1 *Senecio inaequidens* / Schmalblättriges Greiskraut

Status: Ist auf der Schwarzen Liste von Info Flora verzeichnet.

Standort nach Info Flora: Das Schmalblättrige Greiskraut besiedelt als Ruderalpflanze ein breites ökologisches Spektrum. Es wächst sowohl an trockenen als auch an feuchten Standorten. Man findet es sowohl auf kalkhaltigen als auch sauren Böden, in tiefen und höheren Lagen. Das Schmalblättrige Greiskraut ist konkurrenzkräftig, gedeiht auf Kosten der einheimischen Flora und besiedelt schnell 80% einer vorhandenen Fläche.

Standort gemäss Projektergebnissen: Die Beschreibungen des Infoblattes konnten in Bezug auf das breite ökologische Spektrum bestätigt werden. Die Art besiedelt alle Lebensräume, ausser Gehölzen.

Bezüglich Konkurrenzkraft zeigt *Senecio* von allen untersuchten Arten die grösste Siedlungsdichte. Die Art wurde in mehr als 50% aller Erfassungen mit einer Deckung von mehr als 5% gefunden.

Verbreitungsstrategie gemäss Info Flora: Die Samen werden mit dem Wind ausgebreitet. Eine Pflanze produziert bis zu 30'000 Samen. Dies überleben im Boden mindestens 2 Jahre.

Verbreitungsstrategie gemäss Projektergebnissen: Das häufige Auftreten der Art unterstützt die Angaben des Infoblattes. Unterhaltsdienste haben zudem mündlich mitgeteilt, dass sie den Eindruck haben, dass der Fahrtwind und lokale Winde die Verbreitung der Art begünstigen.

Gemäss Beobachtung von Unterhaltsdiensten dürfte ein wichtiger Punkt auch die rasche Neubildung von Blüten und Samen sein. Schon wenige Wochen nach dem Schnitt blüht *Senecio* wieder und bildet Samen.

6.4.2 *Erigeron annuus* / Einjähriges Berufskraut

Status: Ist auf der Schwarzen Liste von Info Flora verzeichnet.

Standort nach Info Flora: In seinem ursprünglichen Verbreitungsgebiet wächst das Einjährige Berufskraut im Grasland, während es in Europa vorwiegend in gestörten Lebensräumen (Deponien, Brachen, Ödland, Ackerflächen) vorkommt. Es findet sich vorwiegend auf nährstoffreichen Böden. Seit einigen Jahrzehnten wird es zunehmend auch auf mageren Standorten mit geschützten Pflanzenarten beobachtet. Das Einjährige Berufskraut benötigt viel Licht, um zu gedeihen.

Standort gemäss Projektergebnissen: In den untersuchten Flächen verhält sich *Erigeron* so, wie im ursprünglichen Verbreitungsgebiet in Nordamerika; es tritt vor allem in wiesenartigen Grünräumen auf und findet sich bevorzugt auf offenen, besonnten Flächen.

Verbreitungsstrategie gemäss Info Flora: Die Samen werden mit dem Wind ausgebreitet. Eine Pflanze produziert bis zu 50'000 Samen.

Verbreitungsstrategie gemäss Projektresultaten: Im Gegensatz zu *Senecio* scheint *Erigeron* weniger stark mit dem Wind ausgebreitet zu werden, obwohl die Art ebenfalls eine grosse Zahl von Samen produziert. Das könnte damit zusammenhängen, dass die fahrbahnnahen Flächen weniger stark besiedelt werden und damit der Fahrtwind einen kleineren Einfluss auf die Ausbreitung hat.

6.4.3 *Solidago canadensis* aggr. / Kanadische Goldruten

Status: ist auf der Schwarzen Liste von Info Flora verzeichnet.

Standort nach Info Flora: In ihrem ursprünglichen Verbreitungsgebiet ist die kanadische Goldrute in gestörten Waldflächen dominant. Sie ist charakteristisch in stickstoffliebenden Pflanzengesellschaften entlang von krautreichen, graslosen Gewässerufeln. Bei uns besiedelt sie unterschiedliche Lebensräume wie Waldränder, Lichtungen, Strassenränder und Ränder von Eisenbahnlinien, Kiesgruben, brachliegende Flächen. Sie findet sich ausserdem in Trockenrasen, Feuchtgebieten oder Gärten.

Standort gemäss Projektresultaten: *Solidago* scheint eine klare Präferenz für Flächen zu haben, die wenig gemäht werden. So ist sie am meisten in den Übergängen zwischen Gehölzen und Wiesenflächen und in den gehölznahen Flächen anzutreffen.

Verbreitungsstrategie gemäss Info Flora: Die Pflanze bildet eine grosse Zahl von Samen aus, verbreitet sich aber vor allem unterirdisch über Rhizome.

Verbreitungsstrategie gemäss Projektresultaten: Wo *Solidago* nicht bekämpft wird, breitet sie sich über die Jahre stark aus. Sie besiedelt vor allem über die unterirdischen Rhizome die angrenzenden Flächen. Darauf weist auch der Deckungsgrad der Pflanzen hin. Sie kommt selten als Einzelexemplar vor, sondern nimmt häufig eine grössere Fläche in Anspruch.

6.4.4 *Rubus armeniacus* / Armenische Brombeere

Status: ist auf der Schwarzen Liste von Info Flora verzeichnet.

Standort nach Info Flora: Die Armenische Brombeere besiedelt viele verschiedene Lebensräume, wie Waldlichtungen, Waldränder, Wegränder, Ödland, Bahnareale, Ufer- und Strassenböschungen bis auf eine Höhe von rund 800 m.ü.M.

Standort gemäss Projektresultaten: *Rubus* ist klar auf Gehölze und deren angrenzende Flächen konzentriert.

Verbreitungsstrategie gemäss Info Flora: Die Pflanze breitet sich weiträumig über Früchte aus. Diese werden von Tieren gerne gefressen und wieder ausgeschieden. Auf kleinem Raum wurzeln die weit ausgreifenden Schösslinge wieder an und erobern so einen neuen Standort.

Verbreitungsstrategie gemäss Projektresultaten: Neue Bestände dürften mit den Ausscheidungen von Vögeln entstehen. Die Ausbreitung in benachbarte Flächen, insbesondere Wiesenbestände, erfolgt über weit ausgreifende Schösslinge.

6.4.5 Fazit

Die meisten Angaben der Infoblätter von Info Flora können mit der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Besonders eindrücklich gilt dies für *Senecio*. Die Art kann dank fahrbahnnahen Standorten, der leichten Verbreitung der Flugsamen durch den Fahrtwind, ihrer Konkurrenzstärke und den geringen Ansprüchen an den Lebensraum innert kürzester Zeit über weite Strecken dichte Bestände aufbauen.

Bei *Erigeron* können die Angaben des Infoblattes von Info Flora hingegen nur teilweise bestätigt werden. Die Art bevorzugt an Autobahnen eher grössere Wiesenbestände und ist in Ruderalflächen und auf offenen Böden weniger zu finden.

6.5 Überlegungen zu den Empfehlungen

Die Auswertung der erhobenen Daten hat klare Hinweise auf die Präferenzen der untersuchten Neophytenarten gegeben. Diese dienen als Grundlage für die nachfolgenden Empfehlungen zur Prävention.

Mit einer konsequenten Umsetzung der Empfehlungen in der Planung, Projektierung, beim Bau und im Unterhalt kann zukünftig die Ausbreitung von Neophyten entlang der Nationstrassen eingedämmt oder stark vermindert werden.

Die Auswertung der erhobenen Daten hat aber auch gezeigt, dass die Ansprüche je nach Art sehr unterschiedlich sein können. Da die vier untersuchten Arten in der Nordschweiz die häufigsten Neophytenarten entlang der Nationalstrassen sind, kann mit der Umsetzung der Empfehlungen ein grosser Beitrag zur Vermeidung und Verminderung von Neophyten geleistet werden.

Für die hier nicht untersuchten Neophyten geben die Infoblätter von Info Flora wichtige Hinweise auf die Standortbedingen und die Ausbreitungsstrategie dieser Arten. Diese Hinweise können genutzt werden um, das Projekt in Bezug auf Neophytenarten, die in der Region häufig sind, möglichst unattraktiv zu gestalten. Die Empfehlungen für einen möglichst unbehinderten Unterhalt sind immer zentral.

6.6 Ausblick

Interessant wäre eine Erfolgskontrolle bei einem umgesetzten Projekt, um zu prüfen ob und wie weit die Massnahmen wirksam sind und ob sie allenfalls ungewollte Auswirkungen haben.

In der vorliegenden Studie wurde kein direkter Vergleich mit den Resultaten des Forschungsprojektes «VSS 2016/224 Automatisierte Erfassung invasiver Neophyten an Autobahnen» gemacht. Dies könnte in einer zusätzlichen Arbeit gemacht und die Ergebnisse überprüft werden.

7 Empfehlungen für präventive Massnahmen

7.1 Vorgehen

Ein zentrales Ziel des Projektes ist die Erarbeitung von Empfehlungen zur Prävention von Neophyten. Die vorgeschlagenen Massnahmen sollen dabei die Erkenntnisse aus den Erfassungen und den Modellierungen berücksichtigen. Sie sollen primär Vorgaben für die Gestaltung aber auch für den Unterhalt beinhalten.

Die Empfehlungen basieren auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes sowie Inputs verschiedener Fachleute (vgl. nachfolgendes Kapitel «Vorgehen»). Es ist der Autorenschaft bewusst, dass verschiedene Empfehlungen vertieft geprüft und konkretisiert werden müssen. Die Empfehlungen sollen somit auch einen Anstoss geben, die Prävention von Neophyten vermehrt ins Zentrum zu stellen und in konkrete Vorgaben und Richtlinien einfließen zu lassen.

Um die Empfehlungen zu erarbeiten, wurde nach Vorliegen der ersten verlässlichen Resultate aus den Auswertungen und auf Basis der Erfahrungen von Unterhaltsdiensten ein Katalog von möglichen Empfehlungen zusammengestellt.

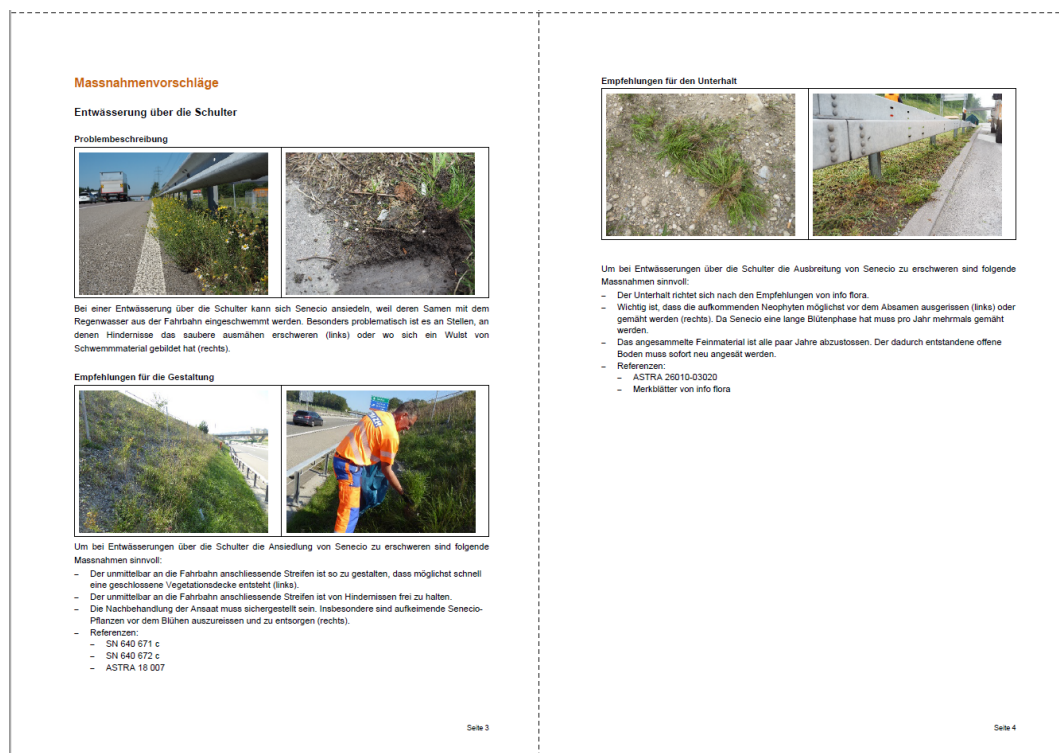


Abb. 29 Ausschnitt aus dem Katalog der möglichen Empfehlungen, der als Diskussionsgrundlage für die Interviews diente.

Dieser Katalog wurde mit Fachleuten aus verschiedenen Disziplinen diskutiert. Ziel war es, die Inhalte zu verifizieren und zu ergänzen. Folgende Interviews wurden geführt:

- 2 Interviews mit Projektingenieuren bzw. Bauleitern
- 6 Interviews mit Unterhaltsverantwortlichen
- 4 Interviews mit Umweltfachleuten
- 1 Besprechung mit der Begleitgruppe

7.2 Übersicht über die Empfehlungen

7.2.1 Gestaltung

Für die Gestaltung wurden 15 Empfehlungen identifiziert. Bei deren Umsetzung versprechen wir uns einen wichtigen Beitrag für die Eindämmung und Reduktion der Bestände an invasiven Neophyten. Einige dieser Empfehlungen sind primär auf die Prävention von *Senecio* ausgerichtet. Sie dürften aber auch bei der Eindämmung von anderen Arten, insbesondere *Erigeron* helfen.

Tab. 27 Übersicht über die Empfehlungen für die Gestaltung und deren Wirkung gegen die verschiedenen Neophytenarten.

		<i>Senecio</i>	<i>Erigeron</i>	<i>Solidago</i>	<i>Rubus</i>	andere Neophyten
Projektierung	1 Neophyten vor Baubeginn erfassen					
	2 Prioritäten setzen und Massnahmen optimieren					
	3 Magerwiesen und Ruderalflächen primär in Biodiversitätsschwerpunkten anlegen					
	4 Unterhaltsdienste besser einbinden					
Ausstattungs- elemente	5 Bankett aufwuchshemmend gestalten					
	6 Gestaltung Zaun Variante I: Zaunfuss ausmähbar gestalten					
	7 Gestaltung Zaun Variante II: Zaun in Hecke integrieren					
	8 Optimalen Unterhalt im Bereich der Leitplanken ermöglichen					
	9 Optimalen Unterhalt im Bereich von Ausstattungselementen ermöglichen					
Ausführung	10 Zwischenlager bewirtschaften					
	11 Vorgaben zum Begrünungszeitpunkt einhalten					
	12 Intensive Unterhaltszone schnell und dicht begrünen					
	13 Unterhalt für die Garantiezeit klar regeln und sicherstellen					
Empfehlungen für die Umsetzung	14 Empfehlungen in die Projektierungsgrundlagen einfließen lassen					
	15 Lebenszyklus berücksichtigen					

7.2.2 Unterhalt

Naturgemäss ist der Unterhalt eher mit der Bekämpfung von invasiven Neophyten beschäftigt. Eine effiziente und effektive Bekämpfung von Neophyten ist aber Teil der Prävention. Können Bestände eingegrenzt oder gar reduziert werden, vermindert dies den Druck auf noch nicht besiedelte Grünräume. In verschiedenen Diskussionen mit Unterhaltsverantwortlichen wurde festgestellt, dass klare Vorgaben und die notwendigen Mittel für eine effektive Bekämpfung fehlen. Die Empfehlungen gehen daher in die Richtung, Vorgaben zu überarbeiten und zu ergänzen.

Tab. 28 Übersicht über die Empfehlungen für den Unterhalt.

		<i>Senecio</i>	<i>Erigeron</i>	<i>Solidago</i>	<i>Rubus</i>	andere Neophyten
Grundsätzliches	16 Konsistente Neophytenstrategie erarbeiten					
	17 Regionales Koordination sicherstellen					
	18 Bauliche Massnahmen zur Umgestaltung prüfen					

7.3 Empfehlungen zur Projektierung

7.3.1 Empfehlung 1: Neophyten vor Baubeginn erfassen

Problembeschreibung: Häufig werden Neophyten beim Bau mit Bodenmaterial verbreitet. Der Boden wird an einem Ort mit vielen Neophyten ausgebaut und später an einem neuen Ort wieder eingebaut. Dadurch können Samen oder Pflanzenteile über weite Strecken verteilt werden.

Empfehlung: Um diesen Verbreitungsweg gezielt zu reduzieren, ist die Kenntnis der Neophytenvorkommen im Projektperimeter wichtig. Standardmässig sind die invasiven Neophyten im Vorprojekt oder Bauprojekt durch die Umweltbaubegleitung oder die Bodenbaubegleitung während der Vegetationszeit gezielt zu erfassen. Diese ist zeitnah vor der Ausführung zu aktualisieren. Die erhobenen Daten dienen der Projektleitung für ein gezieltes Bodenmanagement. Mit Neophyten kontaminiertes Material sollte möglichst wieder an derselben Stelle eingebaut werden oder ist gemäss den aktuellen Empfehlungen des Bodenschutzes zu verwenden.

7.3.2 Empfehlung 2: Prioritäten setzen und Massnahmen optimieren

Problembeschreibung: Die Prävention von Neophyten ist von zahlreichen Rahmenbedingungen abhängig: Art und Häufigkeit der erfassten Neophyten, Auftreten in der Umgebung, Anforderungen an die Gestaltung der Grünräume, Vernetzung mit der Umgebung, um nur einige Rahmenbedingungen zu erwähnen.

Empfehlung: Auf der Grundlage der Erfassung ist festzuhalten, welche Neophytenarten auf den zu gestaltenden Abschnitten prioritär zu verhindern sind. Je nach prioritärer Art und Projektgegebenheiten, sind gezielt Massnahmen ins Auge zu fassen und die Gestaltung zu optimieren.

Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass die drei häufigsten Neophyten *Senecio*, *Erigeron* und *Solidago* nicht oder kaum in Hecken gefunden werden. Bei hohem Neophytendruck dieser Arten bietet es sich daher an, vermehrt Hecken zu pflanzen und so weit als möglich und sinnvoll auf Vegetationstypen ohne Gehölze zu verzichten. Dem ist aber die Gefahr eines vermehrten Auftretens von *Rubus* entgegenzusetzen.

7.3.3 Empfehlung 3: Magerwiesen und Ruderalflächen primär in den Biodiversitätsschwerpunkten anlegen

Problembeschreibung: Magerwiesen und Ruderalflächen sind ökologisch erwünschte Lebensräume, auch an Nationalstrassen. Wegen ihres lückigen Bewuchses sind sie aber anfällig auf die Ansiedlung von Neophyten. Finden ihre Samen einen Ort, der noch nicht von anderen Pflanzen besetzt ist, siedeln sie sich dort an. Weil sie sehr konkurrenzstark sind, können sie offene Flächen fast flächendeckend überwachsen.



Abb. 30 Typische Probleme mit Ruderalflächen.

Empfehlungen: Bei der Gestaltung von Magerwiesen und Ruderalflächen sind folgende Massnahmen sinnvoll:

- Magerwiesen und Ruderalflächen sollten primär in Biodiversitätsschwerpunkten und ausserhalb der Intensiven Unterhaltszone angelegt werden.
- Ausserhalb von Biodiversitätsschwerpunkten kann auf lockerem Bodenmaterial auch die Pflanzung von Hecken sinnvoll sein.
- Neu anzulegende Flächen, dürfen nur mit Material gestaltet werden, das frei von Neophyten ist.
- Die Nachbehandlung der Ansaat muss sichergestellt sein. Insbesondere sind aufkeimende Pflanzen vor dem Blühen auszureissen und korrekt zu entsorgen.
- Der langfristige Unterhalt muss sichergestellt sein. Dazu ist es sinnvoll, diese Flächen mit einem Zugang von ausserhalb der Nationalstrassen zu erschliessen.

7.3.4 Empfehlung 4: Unterhaltsdienste besser einbinden

Problembeschreibung: Gemäss Rückmeldungen aus den Interviews zieht die Gestaltung von Grünflächen oftmals einen aufwendigen Unterhalt nach sich. Mit den zur Verfügung stehenden Mitteln (personell, maschinell) ist dieser nicht zu leisten. Damit können sich Neophyten an Orten ansiedeln, die von Unterhaltsdiensten nicht oder nur schwer bearbeitet werden können.

Empfehlung: Die Unterhaltsdienste aus den Gebietseinheiten kennen die Verhältnisse vor Ort und die Möglichkeiten des Unterhaltes der zukünftigen Grünflächen. Im Interesse eines rationellen und wirkungsvollen Unterhaltes ist es daher sinnvoll, die Verantwortlichen für den zukünftigen Grünunterhalt gemäss Projektfortschritt regelmässig in den Entscheidungsprozess für die Gestaltung der Grünflächen und von Einbauten einzubeziehen. Meist sind einfache Lösungen zu finden, die langfristig zu besseren Resultaten führen.



Abb. 31 Unterhaltsdienste verfügen über jahrelange Erfahrung, detaillierte Kenntnisse ihrer Grünräume und die Möglichkeiten des zukünftigen Unterhaltes.

7.4 Empfehlungen bezüglich Ausstattungselementen

7.4.1 Empfehlung 5: Bankett aufwuchshemmend gestalten

Problembeschreibung: In der Intensiven Unterhaltszone, insbesondere im Bankettbereich, siedeln sich oft *Senecio* und andere Neophyten an. In diesem Bereich fliegen besonders viele Samen an. Ausserdem ist der Übergang zwischen Fahrbahn und Grünraum oft so gestaltet, dass ein sauberes Ausmähen erschwert wird. Darüber hinaus kann die Gestaltung des Banketts mit skelettreichem Bodenmaterial die Ansiedlung und Ausbreitung von *Senecio* erleichtern.



Abb. 32 Typische Probleme im Bankettbereich.

Empfehlungen: Um die Ansiedlung von Neophyten im Bankettbereich möglichst zu verhindern, bieten sich verschiedene Massnahmen an:

- Streifenfundamente verhindern die Ansiedlung von *Senecio* und anderen Neophytenarten. Es ist daher zu prüfen, ob deren Nutzen trotz hoher Kosten den Einsatz zur Neophytenprävention rechtfertigt.
- Alternativ könnte die Intensive Unterhaltszone und das Bankett mit einem dichten Bewuchs gestaltet werden (vgl. Kapitel 7.6.3).
- Eine weitere mögliche Massnahme, um die Ansiedlung von *Senecio* zu verhindern, könnte darin bestehen, den Bankettbereich aufwuchshemmend zu gestalten.
- Bei den SBB laufen zurzeit verschiedene Versuche für aufwuchshemmende Bankette. Diese könnten wertvolle Impulse für die Gestaltung an der Nationalstrasse geben.



Abb. 33 Mögliche Lösungen im Bankettbereich.

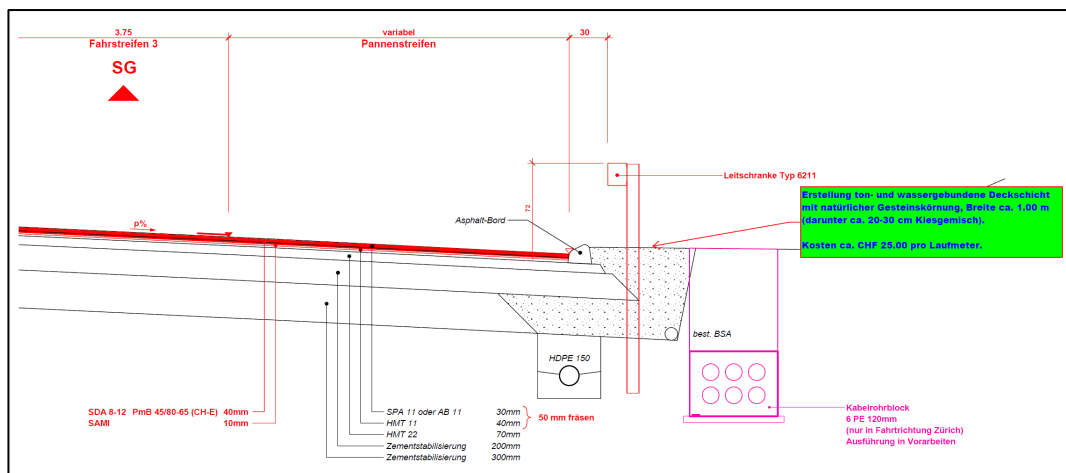


Abb. 34 Vorschlag für die Gestaltung eines aufwuchshemmenden Bankettes (F. Preisig AG).

7.4.2 Empfehlung 6: Gestaltung Zaun Variante I: Zaunfuss ausmähbar gestalten



Abb. 35 Typische Probleme im Bereich des Zaunfusses.

Empfehlungen: Um Neophyten im Zaunbereich effizient zu bekämpfen, sind neue Zauntypen notwendig. Diese sollten im Fussbereich problemlos ausgemäht werden können. Die aktuelle Ausgestaltung des Zauns gemäss der Norm SN 640 693a lässt dies nicht zu. Folgende Ansätze könnten zu einer Lösung führen:

- Bei der anstehenden Überarbeitung der Norm Fauna und Verkehr, Wildzäune sollte dem Unterhalt der Grünräume grösseres Gewicht gegeben werden.
- Der unterste Draht des Geflechts befindet sich einige cm über dem Boden. Dadurch kann mit einem Fadenmäher unter dem Zaun hindurch gemäht werden. Um zu verhindern, dass der Zaun aufgedrückt wird, könnte die untersten Drähte stärker ausgebildet und im Boden verankert werden, analog einem Zaun für Wildschweine.
- Der Fussbereich des Zauns wird mit einem «mähfähigen» Material ausgebildet. Solche Materialien werden teilweise bereits als Amphibienleitsystem verwendet oder wurden hie und da versuchsweise durch Unterhaltsdienste eingesetzt. Eine mögliche Lösung wird im Ausland bereits angewendet und ist von Erwin Egger nachfolgend skizziert.
- Der Zaun wird auf ein Fundament gesetzt.



Abb. 36 Mögliche Lösungen im Bereich des Zaunfusses.

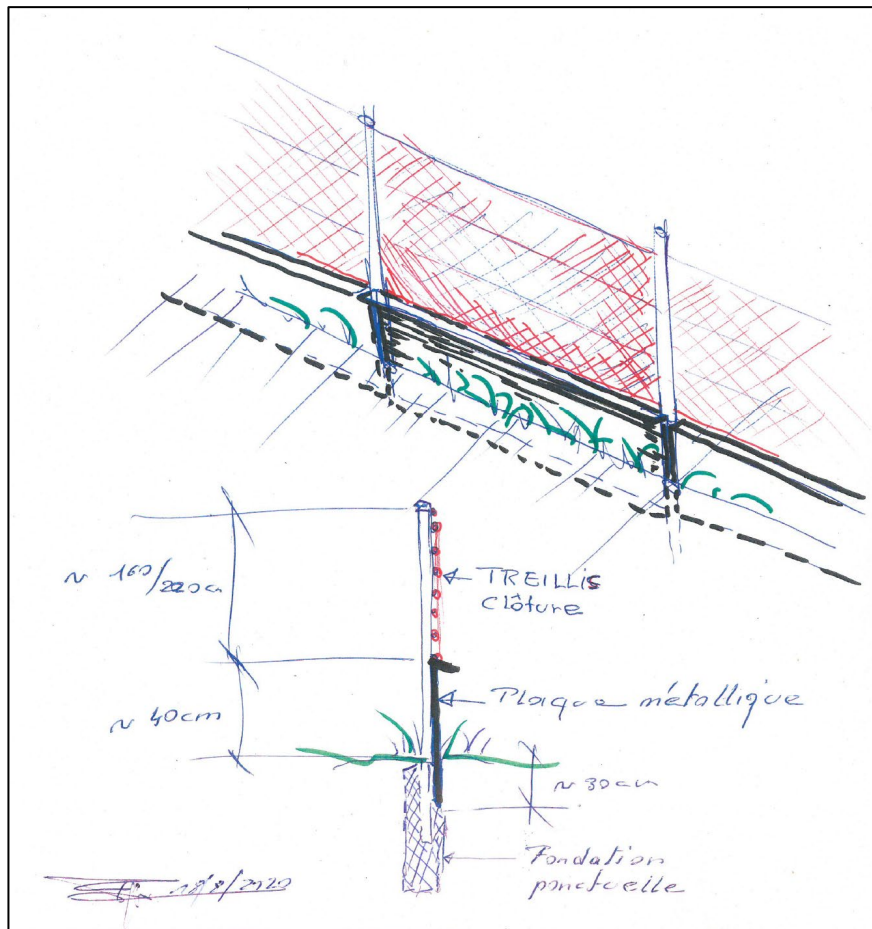


Abb. 37 Wildschutzzaun auf der Strecke Basel-Mulhouse mit einem ausmähbaren Zaunfuss aus Metall. Skizze Erwin Egger, Siera.

7.4.3 Empfehlung 7: Gestaltung Zaun Variante II: Zaun in Hecke integrieren

Problembeschreibung: Wie oben beschrieben erschwert der Wildschutzzaun die Bekämpfung von Neophyten. Entsprechend finden sich Neophyten häufig entlang von Zäunen.

Empfehlung: Eine einfache und wirkungsvolle Massnahmen, um die Ansiedlung von Neophyten zu erschweren oder zu verhindern ist die Platzierung des Zauns innerhalb einer Hecke. Dabei ist zentral, dass der Zaun einwachsen kann und nicht jährlich freigeschnitten wird.



Abb. 38 Links: ein Zaun der neu einwachsen gelassen wird. Recht: ein Zaun der schon seit Jahren eingewachsen ist (Zaunpfosten unten links sichtbar).

7.4.4 Empfehlung 8: Optimalen Unterhalt im Bereich der Leitplanken ermöglichen

Problembeschreibung: Leitplanken erschweren die Bekämpfung von Neophyten. Trotz Leitplankenmäher kann sich insbesondere Senecio festsetzen.



Abb. 39 Typische Probleme im Bereich der Leitplanke.

Empfehlungen: Um die Ansiedlung von Neophyten im Bereich der Leitplanken möglichst zu vermeiden, sollte die Ausführung der Leitplanken im Hinblick auf die Bekämpfung optimiert werden. Dazu bieten sich folgende Ansätze an:

- Mit Streifenfundamenten, wie sie heute öfter eingesetzt werden, erübrigt sich das Ausmähen der Leitplanken, damit ist die Ansiedlung und die Ausbreitung wirksam unterbunden. Zu beachten ist allerdings, dass auf Fundamente gedübelte Pfosten deutlich kostenintensiver sind als im Gelände gerammte Pfosten. Es ist daher zu prüfen, ob deren Nutzen trotz hoher Kosten den Einsatz zur Neophytenprävention rechtfertigt.



Abb. 40 Mögliche Lösungen im Bereich der Leitplanke.

7.4.5 Empfehlung 9: Optimalen Unterhalt im Bereich von Ausstattungselementen ermöglichen

Problembeschreibung: Leitplanke und Zaun oder auch andere Elemente werden oft so platziert, dass ein maschineller Unterhalt zwischen den beiden Elementen nicht möglich ist. Aus Effizienz- und Kapazitätsgründen erfolgt an diesen Stellen der Unterhalt zwangsweise nur ungenügend. Dies erleichtert die Ansiedlung und Ausbreitung von Neophyten.



Abb. 41 Typische Probleme mit engen Räumen zwischen Ausstattungselementen.

Empfehlungen: Die Platzierung und Anordnung von Leitplanke und Zaun aber auch anderer Elemente muss so erfolgen, dass ein maschineller Unterhalt möglich ist:

- Es ist zu prüfen, ob und wie verschiedene Ausstattungselemente bei engen Platzverhältnissen zu einem einzigen Element zusammengefasst werden können.
- Wichtig wäre es, vor allem Zaun und Leitplanke auf einen Streifenfundament kombinieren zu können. Die dafür notwendigen Bewilligungen oder Zertifikate sollten angestrebt werden.
- Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Zwischenraum zu versiegeln oder diesen so gross auszugestalten, dass maschinell gemäht werden kann.



Abb. 42 Versiegelte Fläche zwischen Lärmschutzwand und Fahrbahn (Foto: M. Hürlimann, Gruner Berchtold Eicher AG).

7.5 Empfehlungen zur Ausführung

7.5.1 Empfehlung 10: Zwischenlager bewirtschaften

Problembeschreibung: Eine wichtige Quelle für die Verbreitung von Neophyten sind Bauvorgänge. Hier finden Neophyten vielfach offene Böden, die sie in kurzer Zeit besiedeln. Dies wirkt sich vor allem dort negativ aus, wo Neophyten Bodendepots besiedeln, die später wieder eingebaut werden.

Empfehlung: Zwischenlager, die mehrere Monate bestehen, sind möglichst schnell zu begrünen. Ein dichter Pflanzenwuchs vermindert den Aufwuchs von Neophyten erheblich. Die Zwischenlager sind regelmässig zu pflegen und zu kontrollieren. Aufkommenden Neophyten sind auszureissen und korrekt zu entsorgen.

7.5.2 Empfehlung 11: Vorgaben zum Begrünungszeitpunkt einhalten

Problembeschreibung: Gemäss Rückmeldungen aus den Interviews liegt das Zeitfenster für die Begrünung häufig ungünstig. Wegen des zeitlich optimierten Bauablaufes kann es auch vorkommen, dass die Begrünung von fertig gestellten Böschungen verschoben werden muss. Dadurch bleiben Böden über längere Zeit unbewachsen oder die Begrünung scheitert. Dies sind ideale Bedingungen für die Ansiedlung von Neophyten. In den beim NS-Bau häufig verwendeten Vorgaben fehlen entsprechende Vorgaben für die Begrünung.

Empfehlung: In der Regel sind Begrünungen im Herbst oder Frühjahr erfolgreicher, als wenn Ansaaten im Winter oder im Sommer vorgenommen werden. Dieser Zeitrahmen ist auch in den VSS Normen entsprechend vorgegeben. Er ist den Phasenplanungen für die Projekte entsprechend zu berücksichtigen und einzuhalten.

7.5.3 Empfehlung 12: Intensive Unterhaltszone schnell und dicht begrünen

Problembeschreibung: Jüngere Flächen sind anfällig für eine Ansiedlung von *Senecio*. Dies gilt insbesondere für nur ungenügend begrünte Flächen. *Senecio*, *Erigeron* aber auch andere Neophyten finden sich gehäuft in der Intensiven Unterhaltszone, die häufig einen lockeren Bewuchs ausweist.



Abb. 43 Typische Probleme in der Intensiven Unterhaltszone.

Empfehlungen: Um bei frisch angelegten Flächen und in der Intensiven Unterhaltszone die Ansiedlung von Neophyten zu erschweren sind folgende Massnahmen sinnvoll:

- Neu angelegte Flächen in der Intensiven Unterhaltszone sind unmittelbar nach Fertigstellung mit konkurrenzstarken und dicht wachsenden Pflanzen zu begrünen.
- Fehlt dazu das Zeitfenster, so kann auch Abdeckmaterial verwendet werden, das bereits mit Saatmaterial versetzt ist. Diese Möglichkeit bietet sich auch mit Saattmatten aus einheimischer Holzwolle. Bei Kokosmatten besteht die Gefahr, dass diese durch den Mäher aufgewickelt werden.

- Neu anzulegende Flächen, dürfen nur mit Bodenmaterial gestaltet werden, das möglichst frei von Neophyten ist.
- Die Nachbehandlung der Ansaat muss sichergestellt sein. Insbesondere sind aufkeimende Pflanzen vor dem Blühen auszureissen und korrekt zu entsorgen.



Abb. 44 Mögliche Lösungen in der Intensiven Unterhaltszone und Kontrolle der Flächen auf Neophyten.

7.5.4 Empfehlung 13: Unterhalt für die Garantiezeit klar regeln und sicherstellen

Problembeschreibung: Die Garantiezeit ist ein kritischer Zeitpunkt für die Ansiedlung von Neophyten. Hier sind die Böden noch offen und erste Neophyten können sich aus Samenflug oder aus Samenreservoirs im Boden entwickeln. Gemäss Rückmeldungen aus den Interviews sind die sachgemässe Kontrolle und Pflege während der Garantiezeit nicht immer sichergestellt. Dadurch besteht die Gefahr, dass sich Neophyten ansiedeln können.

Empfehlung: Für die Dauer der Garantiezeit ist die sachgemässe Kontrolle und Pflege von frisch begrünzten Böschungen im Rahmen des Projektes klar zu regeln und sicher zu stellen. Aufkommende Neophyten sind auszureissen und zu entsorgen. Die Arbeiten sind durch die Umweltbaubegleitung zu überwachen.

7.6 Empfehlungen für die Umsetzung

7.6.1 Empfehlung 14: Empfehlungen in die Projektierungsgrundlagen einfliessen lassen

Problembeschreibung: Gemäss den Interviews ist das Bewusstsein für die Problematik von Neophyten und für mögliche Massnahmen zur Prävention bei den Projektleitern in den Projekten wenig verankert.

Empfehlungen: Zentrale Informationen zum Thema Neophyten sind in geeigneter Form direkt in angewendeten Planungs- und Projektierungsgrundlagen einzubauen. Dazu kann neben den hier aufgeführten Empfehlungen auch auf zahlreiche Grundlagen zurückgegriffen werden (in der Schweiz z.B. Cercle Exotique, Info Flora). Die Projektablaufe sollten den beauftragten Umweltfachleuten für die Umsetzung vermehrt Kompetenzen einräumen. Beispiele:

- In den Pflichtenheften ist festzuschreiben, den Ausgangszustand der Neophyten zu kartieren sowie eine Bekämpfung während des ganzen Projektes (inkl. Garantiezeit) vorzuschreiben.
- Bei der landschaftspflegerischen Begleitplanung ist das Thema Neophyt stärker zu thematisieren. So ist insbesondere der periodische Einbezug der Unterhaltsdienste vorzusehen und der regionale Neophytendruck zu berücksichtigen.

7.6.2 Empfehlung 15: Lebenszyklus berücksichtigen

Problembeschreibung: Gemäss Rückmeldungen aus den Interviews haben die Argumente betreffend eines kostenintensiven Unterhaltes in der Regel wenig Gewicht gegenüber den Mehrkosten für Massnahmen zugunsten eines vereinfachten Unterhaltes. Erfahrungsgemäss rechnen sich im Grünbereich aber Mehrkosten für die Projektierung und Ausführung häufig verglichen mit den langjährigen Unterhaltsaufwendungen.

Empfehlung: Für zentrale Problemfelder im Grünbereich an der Schnittstelle zwischen Bau und Unterhalt sollen grundsätzliche Überlegungen zu den Lebenszykluskosten helfen, optimale Lösungen zu finden. Eine dieser zentralen Schnittstellen dürfte die Prävention vs. Bekämpfung von Neophyten sein.

7.7 Empfehlungen für den Unterhalt

7.7.1 Empfehlung 16: Konsistente Neophytenstrategie erarbeiten

Problembeschreibung: Die Bekämpfung von Neophyten ist ein hochaktuelle, aber noch wenig entwickelte Thematik. So lässt sich z.B. feststellen, dass eine gewisse Diskrepanz zwischen den Anforderungen an die Bekämpfung und den zur Verfügung stehenden Mitteln vorhanden ist. Es fehlt an einer konsistenten und übergreifenden Strategie.

Empfehlungen: Die Strategie zur Bekämpfung von Neophyten ist so zu definieren, dass die Vorgaben konsequent umgesetzt werden können und die entsprechenden Mittel zur Verfügung stehen.

- Es braucht klare Ziele für den Unterhalt (Wo bekämpfen, halten oder reduzieren der Bestände, Konzentration von Mitteln, ...).
- Die notwendigen Ressourcen und eine angemessene Ausbildung sind zur Verfügung zu stellen.
- Die zahlreichen vorhandenen Grundlage für die Bekämpfung (z.B. die Infoblätter von Info Flora zu den diversen Neophytenarten) sollen möglichst verbindlich angewendet werden.
- Auf die Entwicklung der Bestände und auf neue Erkenntnisse soll möglichst agil reagiert werden können. Bestehende Anleitungen und Vorgaben daher regelmässig überprüfen und allenfalls aktualisieren.

7.7.2 Empfehlung 17: Regionale Koordination sicherstellen

Problembeschreibung: Auch wenn das Projekt keine klaren Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von Neophyten an der Nationalstrasse und der Nutzung der Umgebung nachweisen konnte, ist dennoch klar, dass Neophytenvorkommen nicht auf Nationalstrassen oder andere Nutzungen beschränkt sind. Die isolierte Bekämpfung entlang der Nationalstrasse, wird daher zwar gewisse Erfolge zeigen, ist aber für sich allein genommen noch nicht optimal.

Empfehlung: Die Neophytenbekämpfung an den Nationalstrassen sollte sich, wo immer möglich, auf regional koordinierte Bekämpfungsmassnahmen stützen und sich diesen anschliessen. Dadurch dürfte es gelingen, mit denselben Mitteln eine grössere Wirkung zu erzielen. Als Beispiel kann das Pilotprojekt Reppischtal dienen, bei dem die Baudirektion des Kantons Zürich einen neuen, räumlich und zeitlich koordinierten Ansatz gegen invasive gebietsfremde Pflanzen testet.

7.7.3 Empfehlung 18: Bauliche Massnahmen zur Umgestaltung prüfen

Problembeschreibung: Auf verschiedenen Streckenabschnitten sind die Grünflächen aus diversen Gründen schlecht zu unterhalten. Das erleichtert die Ansiedlung von Neophyten.

Empfehlung: In Zusammenarbeit mit den Unterhaltsdiensten ist zu prüfen, ob und wo mit einfachen baulichen Massnahmen der Unterhalt erleichtert und effizienter gestaltet werden könnte. So sollten auf befestigten Flächen entstandene Risse und Fugen regelmässig ausgegossen oder versiegelt werden, um die Ansiedlung von Neophyten zu verhindern. Ebenso kann es notwendig sein Feinmaterial, das sich entlang der Fahrbahn ansammelt, regelmässig zu entfernen.

7.8 Bewertung der Empfehlungen

Die nachfolgenden Tabellen geben eine Einschätzung der Forschungsstelle über die Wirksamkeit und Dringlichkeit der Empfehlungen.

Eine Differenzierung ist schwierig. Jede der empfohlenen Massnahmen ist für die beabsichtigte Wirkung wichtig und zielführend. Die angegebenen Bewertungen basieren auf den Erfahrungen aus der Beratung von Unterhaltsdiensten.

Bezüglich Aufwand ist anzumerken, dass nachfolgend nur die Umsetzung der empfohlenen Massnahmen berücksichtigt ist. Deren positive Wirkung ist nicht berücksichtigt. Die Forschungsstelle geht davon aus, dass die Umsetzung der Empfehlungen mittel- bis langfristig zu einer Reduktion der Vorkommen und zu einer vereinfachten Bekämpfung der invasiven Neophyten führen wird. Damit verbunden ist eine erhebliche Reduktion des Aufwandes im Unterhalt. Dieser positive Effekt ist in der Rubrik «Aufwand» nicht berücksichtigt.

Tab. 29 Bewertung der Empfehlungen für die Gestaltung basierend auf den Erfahrungen aus der Beratung von Unterhaltsdiensten.

		Dringlichkeit	Wirkung	Aufwand	Zeithorizont
Projektierung	1 Neophyten vor Baubeginn erfassen	mittel	mittel	klein	sofort
	2 Prioritäten setzen und Massnahmen optimieren	mittel	mittel	mittel	sofort
	3 Magerwiesen und Ruderalflächen primär in Biodiversitätsschwerpunkten anlegen	hoch	hoch	klein	sofort
	4 Unterhaltsdienste besser einbinden	sehr hoch	sehr hoch	mittel	sofort
Ausstattungs- elemente	5 Bankett aufwuchshemmend gestalten	hoch	mittel	mittel - hoch	sofort
	6 Gestaltung Zaun Variante I: Zaunfuss ausmähbar gestalten	hoch	mittel	mittel	mittelfristig
	7 Gestaltung Zaun Variante II: Zaun in Hecke integrieren	hoch	hoch	klein	sofort
	8 Optimalen Unterhalt im Bereich der Leitplanken ermöglichen	hoch	mittel	mittel - hoch	sofort
	9 Optimalen Unterhalt im Bereich von Ausstattungselementen ermöglichen	hoch	hoch	mittel - hoch	sofort
Ausführung	10 Zwischenlager bewirtschaften	mittel	mittel	klein	sofort
	11 Vorgaben zum Begrünungszeitpunkt einhalten	hoch	hoch	klein	sofort
	12 Intensive Unterhaltszone schnell und dicht begrünen	hoch	hoch	klein	sofort
	13 Unterhalt für die Garantiezeit klar regeln und sicherstellen	hoch	hoch	mittel	sofort
Empfehlungen für die Umsetzung	14 Empfehlungen in die Projektierungs- grundlagen einfließen lassen	hoch	mittel	mittel - hoch	mittelfristig
	15 Lebenszyklus berücksichtigen	mittel	mittel	hoch	mittelfristig

Tab. 30 Bewertung der Empfehlungen für den Unterhalt basierend auf den Erfahrungen aus der Beratung von Unterhaltsdiensten.

		Priorität	Wirkung	Aufwand	Zeithorizont
Grundsätzliches	16 Konsistente Neophytenstrategie erarbeiten	hoch	hoch	mittel	mittelfristig
	17 Regionales Koordination sicherstellen	klein	mittel	mittel	Chancen nutzen
	18 Bauliche Massnahmen zur Umgestaltung prüfen	klein	mittel	mittel	falls notwendig

Anhänge

I	Verdankung	88
II	Erläuterung der verwendeten statistischen Methoden	89
II.1	Korrelation	89
II.2	Hierarchische Partitionierung	89
II.3	GLM.....	89
II.4	GLMM.....	90
III	Erfasste Parameter	91
III.1	Vegetationstypen ohne Gehölze	91
III.2	Gehölze	92
IV	Erfasste Daten	93
V	Resultate der Modellierung	94
V.1	Erklärungen	94
V.2	Ergebnisse GLM	94
V.3	Ergebnisse GLMM	95

I Verdankung

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die grosse Unterstützung von externen Fachleuten nicht zustande gekommen. Unser grosser Dank gilt insbesondere:

- Ohne die jahrelange Zusammenarbeit mit und die zahlreichen Anregungen von Verantwortlichen in den Gebietseinheiten insbesondere in der NSNW sowie beim ASTRA wäre das Projekt nicht zustande gekommen. Sie haben mit ihren Anliegen und Fragen zum Unterhalt wichtige Inputs für dieses Projekt gegeben.
- Die Unterhaltsverantwortlichen in den Gebietseinheiten nördlich der Alpen zwischen Genfer- und Bodensee haben unser Projekt wohlwollend aufgenommen und für die Sicherheit bei den Feldaufnahmen gesorgt. Der Dank gilt auch den Fahrern in den Fahrzeugen, welche die Kartiererin begleitet haben.
- Für die Ausarbeitung der Empfehlungen zur Prävention von Neophyten konnten wir auf zahlreiche Inputs von Fachleuten aus unterschiedlichen Disziplinen zählen: Adrian Aregger (NSNW, GE VIII), Oskar Arnet (ASTRA), Erwin Egger (Siera, GE II), Sascha Gregori (Kanton GR), Melven Hürlimann (Gruner AG), Olivier Leuenberger (F. Preisig AG), Rolf Mangold (NSNW, GE VIII), Stefan Schneider (GE I), Beat Städler (GE VII), Mauro Togni (Kanton TI), Marguerite Trocmé (ASTRA), Robert Wanzenried (GE I).
- Dr. Michael Nobis, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in Birmensdorf, hat uns zahlreiche Hinweise und Tipps für die statistische Auswertung der Daten gegeben. Er brachte dabei auch sein umfangreiches Wissen über die Biologie von invasiven Neophyten ein. Sein VSS-Projekt 2016/224 zur automatischen Erfassung von invasiven Neophyten an Autobahnen hat auch unsere Arbeit inspiriert.
- Die Statistikberatung der ZHAW hat uns weitere wichtige Hinweise für die Auswertung des umfangreichen Datenmaterials gegeben.

Unser Dank gilt auch der Begleitgruppe des Projektes. Sie bestand aus den Mitgliedern der Fachkommission 2.6 der VSS sowie Michael Nobis und Kathrin Fischer. Kathrin Fischer, Verantwortliche für Neophyten und Bauen beim Kanton Zürich, hat den Cercle Exotique in der Begleitgruppe vertreten.

II Erläuterung der verwendeten statistischen Methoden

II.1 Korrelation

Die Korrelation ist ein statistisches Mass, um auszudrücken, inwiefern zwei Variablen in einer Beziehung zueinanderstehen. Die Stärke dieser Beziehung wird mit einem Koeffizienten beschrieben (1= perfekte Korrelation) und mit einem Vorzeichen dargestellt. Positive Werte zeigen eine positive Korrelation, was bedeutet, dass die Werte beider Variablen tendenziell gemeinsam ansteigen.

Die Korrelation wird vor der Modellierung getestet und zu stark korrelierte Variablen werden ausgeschlossen, in der Regel $|r| > 0.7$ (Dormann et al. 2013). Der Grund dafür ist, dass bei hoch korrelierten Prädiktoren die Interpretation der Bedeutung einzelner Prädiktoren und die Generalisierbarkeit der Modelle erschwert wird.

II.2 Hierarchische Partitionierung

Die hierarchische Partitionierung (hierarchical partitioning) ist eine Methode, um unabhängige (individuelle, engl. independent) und gemeinsame (engl. joint) Beiträge von Prädiktoren in Regressions-Modellen zu bestimmen. Gemeinsame Effekte (joint effects) kommen durch Multikollinearität von Prädiktoren zustande, welche die Stärke der Erklärung des Modells einschränken (Mac Nally, 2002). Die hierarchische Partitionierung ergibt kein vorhersagendes Modell, sondern erlaubt das Identifizieren der Prädiktoren, welche unabhängig von den anderen am meisten zur Modellgüte beitragen.

II.3 GLM

Mögliche Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von invasiven Neophyten und bestimmten Eigenschaften der untersuchten Transekte entlang der Nationalstrassen wurden mit generalisierten linearen Modellen (GLM, generalized linear model) untersucht. Dieser Modelltyp ist gut für die Daten dieser Arbeit geeignet und stellt eine Verallgemeinerung der linearen Regression dar. Ist die abhängige Variable wie beim Vorkommen oder Fehlen der Neophyten binär, so wird das GLM mit einer sog. «logit» Link-Funktion gerechnet.

Ein GLM beruht auf einem statistischen Schätzverfahren, der Maximum-likelihood Methode. Dabei werden die Parameter so ausgewählt, dass sie die erhobenen Daten am besten beschreiben und deren Realisierung am wahrscheinlichsten ist. Mithilfe des Modells wird vorhergesagt, welche Prädiktoren für das Vorkommen einer Art einen Einfluss haben. Dieser Einfluss wird quantifiziert, in Relation zu einem Nullmodell und anderen Prädiktoren, und mittels eines Wald-Test auf Signifikanz geprüft.

Um eine logistische Regression durchzuführen, müssen die folgenden Voraussetzungen berücksichtigt werden:

- Stichprobengrösse (n): logit Modelle benötigen grössere Stichproben, da sie mit Maximum-likelihood Methoden rechnen (und nicht mit der Methode der kleinsten Quadrate); empfohlen wird $n > 400$
- Maximum-likelihood bedeutet, dass die Parameter Schätzungen diejenigen Werte sind, welche die Wahrscheinlichkeit der Beobachtungen maximiert
- Wenn das Auftreten selten ist ($< 10\%$), kann die Berechnung eines logit Modells schwierig sein
- Keine Multikollinearität zwischen Prädiktoren (bei hoher Kollinearität zweier Prädiktoren soll nur einer weiterverwendet werden)

II.4 GLMM

Ein generalisiertes lineares gemischtes Modell (GLMM, generalized linear mixed model) ist eine Erweiterung von einem GLM, wobei zusätzlich zu den üblichen Prädiktoren «fixed effects» noch «random effects» berücksichtigt werden. Diese zufälligen Effekte können beispielsweise eine Gruppenzugehörigkeit sein, die Unterschiede zwischen Gruppen berücksichtigen, deren Ursache unbekannt oder nicht von Interesse sind.

Im vorliegenden Fall wurde die Zugehörigkeit zu Teststreckenabschnitten als zufällige Effekte verwendet. So können sich Flächen trotz ähnlichen Standortbedingungen auch wegen ihrer Zugehörigkeit zu bestimmten Teststreckenabschnitten unterscheiden. Die Ursache kann beispielsweise in der unterschiedlichen Ausbreitungsdynamik der Arten liegen, die einzelne Abschnitte schon länger, andere dagegen erst seit kurzem besiedeln. Solche Unterschiede sind meist unbekannt und können durch die Zugehörigkeit zu Teststreckenabschnitten im GLMM berücksichtigt werden. Hierdurch wird die Interpretierbarkeit zur Bedeutung der erfassten Parameter verbessert.

III Erfasste Parameter

III.1 Vegetationstypen ohne Gehölze

Kategorie	Parameter	Beschreibung
Typ_Kat	Gehölz	
	Gehölzfrei	
Hinderniss	kein	kein Hindernis
	Leitplanke	Leitplanke mit naher Umgebung
	Zaun	Zaun mit naher Umgebung (gehölzfrei)
	Einbauten	Einbauten mit naher Umgebung (z.B. Fundament, Mauer, Schacht, Steinkorb, Trafostation) punktuelle Hinder
	Kleinstruktur	ökol. Kleinstruktur mit naher Umgebung (Steinhaufen, Steinlinsen, Asthaufen, Wurzelstock)
	Bankett	neue Strassen 1.5m breit, an älteren Strassen 30-70cm
	Streifenfundament	Bankett mit Streifenfundament und unmittelbarer Umgebung
	feste lineare Begrenzung	LSW, Mauer, Felswand (dahinter kann nicht gemäht werden) lineare Hindernisse
	Zaun eingewachsen	Zaun eingewachsen in Gehölz
	Leitplanke inkl. Zaun	Zaun an Leitplanke geschraubt mit naher Umgebung
	Leitplanke Kantenstein	Leitplanke mit naher Umgebung welche durch einen Randstein (Bordstein) zur Strasse abgegrenzt ist
	Bankett Kantenstein	neue Strassen 1.5m breit, an älteren Strassen 30-70cm. Abgrenzung durch einen Randstein (Bordstein)
	Leitplanke inkl. Zaun Kantenstein	Zaun an Leitplanke geschraubt mit naher Umgebung welche durch einen Randstein (Bordstein) zur Strasse a
	NA	nicht anwendbar (für Gehölzflächen)
Intensivstreifen	ja	Die Fläche befindet sich im Bereich der ersten 2-4m ab dem Fahrbahnstreifen
	nein	Die Fläche befindet sich nicht direkt an der Fahrbahn und unterliegt einem extensiveren Pflegerythmus
Vegetationstyp	Befestigt	-
	Rasen und Wiesen	-
	Magerwiesen	-
	Ruderalflächen	-
	Gehölz	-
	Übergang zu Gehölz	-
Deckung Vegetation	Deckung Vegetation > 95%	-
	Deckung Vegetation 75-95%	-
	Deckung Vegetation < 75%	-
	NA	-
Skelettanteil	Skelettanteil gering (0 bis 20%)	-
	Skelettanteil gross (>20%)	-
	NA	nicht anwendbar (für Gehölzflächen)
Lage	der Fahrbahn zugewandt	der Fahrbahn zugewandt (d.h FI liegt höher als Fahrban)
	eben	eben
	der Fahrbahn abgewandt	der Fahrbahn abgewandt (d.h FI liegt tiefer als Fahrban)
	NA	nicht anwendbar
Bodenbedeckung Umgebung	≥80% Typ 1 / < 20 % Typ 2	> 80 % Typ1 Siedlungsraum/Gewerbegebiet/<20 % Typ 2 Landwirtschaftlich/Wald
	60 -79 Typ 1 / 21 - 40% Typ 2	60-79 % Typ1 Siedlungsraum/Gewerbegebiet/ 21-40 % Typ 2 Landwirtschaftlich/Wald
	40 – 59% Typ 1 / 41 - 60% Typ 2	40-59 % Siedlungsraum/Gewerbegebiet/61-80 % Landwirtschaftlich/Wald
	20% -39 % Typ 1 / 61 -80% Typ 2	> 80 % Typ1 Siedlungsraum/Gewerbegebiet/<20 % Typ 2 Landwirtschaftlich/Wald
	<20 Typ 1 / >80% Typ 2	< 20 % Siedlungsraum/Gewerbegebiet/> 80 % Landwirtschaftlich/Wald
Entwässerung	über Schulter	-
	gefasste Entwässerung	-
	NA	nicht anwendbar
Alter	≥ 2015	-
	2010 - 2014	-
	2005 - 2009	-
	2000-2004	-
	1995-1999	-
	< 1995	-
	NA (keine Information)	-
Bemerkungen	freies Feld	

III.2 Gehölze

Kategorie	Parameter	Beschreibung
Intensivstreifen	ja	Die Fläche befindet sich im Bereich der ersten 2-4m ab dem Fahrbahnstreifen
	nein	Die Fläche befindet sich nicht direkt an der Fahrbahn und unterliegt einem extensiveren Pflegerythmus
Kronenschluss	Kronenschluss > 90%	-
	Kronenschluss 60-90%	-
	Kronenschluss < 60%	-
	NA	nicht anwendbar (für gehölzfreie Flächen)
Lichteinfall	Stark	starker Lichteinfall auf den Boden der Gehölzfläche (z.B. starker seitlicher Lichteinfall bei Gehölzfläche auf Damm)
	Schwach	es dringt kaum Licht auf den Gehölzflächen-Boden
	NA	nicht anwendbar (für gehölzfreie Flächen)
Lage	der Fahrbahn zugewandt	der Fahrbahn zugewandt (d.h. FI liegt höher als Fahrbahn)
	eben	eben
	der Fahrbahn abgewandt	der Fahrbahn abgewandt (d.h. FI liegt tiefer als Fahrbahn)
	NA	nicht anwendbar
Sonneneinstrahlung	Sonne	-
	Halbschatten	-
	Schatten	-
	NA	-
Bodenbedeckung Umgebung	≥80% Typ 1 / <20 % Typ 2	> 80 % Typ1 Siedlungsraum/Gewerbegebiet/<20 % Typ 2 Landwirtschaftlich/Wald
	60 -79 Typ 1 / 21 - 40% Typ 2	60-79 % Typ1 Siedlungsraum/Gewerbegebiet/ 21-40 % Typ 2 Landwirtschaftlich/Wald
	40 – 59% Typ 1 / 41 - 60% Typ 2	40-59 % Siedlungsraum/Gewerbegebiet/61-80 % Landwirtschaftlich/Wald
	20% -39 % Typ 1 / 61 -80% Typ 2	> 80 % Typ1 Siedlungsraum/Gewerbegebiet/<20 % Typ 2 Landwirtschaftlich/Wald
	<20 Typ 1 / >80% Typ 2	< 20 % Siedlungsraum/Gewerbegebiet/> 80 % Landwirtschaftlich/Wald
Bemerkungen	freies Feld	

IV Erfasste Daten

Tab. 31 Übersichtstabelle mit allen 2264 Datensätzen.

erfasste Parameter		Erfassungen	
		Anzahl	Anteil
Total der Erfassungen		2264	100%
Neophytenart	Neophyten vorhanden	926	41%
	Senecio	459	20%
	Erigeron	155	7%
	Solidago	97	4%
	Rubus	124	5%
	übrige Neophyten	91	4%
Vegetationstyp	Befestigte Fläche	464	20%
	Rasen, Wiesen	1095	48%
	Magerwiesen	275	12%
	Ruderalflächen	111	5%
	Gehölze	198	9%
	Saum	121	5%
Lage gegenüber Fahrbahn	Fahrbahn zugewandt	666	29%
	eben	1086	48%
	Fahrbahn abgewandt	512	23%
einzelnes Hindernis	mindestens 1 Hindernis vorhanden	1277	56%
	Leitplanke	164	7%
	Zaun	245	11%
	Einbauten	254	11%
	Kleinstruktur	8	0%
	Bankett	62	3%
	Streifenfundament	65	3%
	feste lineare Begrenzung	133	6%
	Zaun eingewachsen	41	2%
kombinierte Hindernisse	Zaun und Leitplanke	572	25%
	Zaun an Leitplanke fixiert	23	1%
	Leitplanke und Kantenstein	140	6%
	Bankett und Kantenstein	141	6%
	Bankett und Hindernis	203	9%
Diverses	Intensivstreifen	1487	66%
	Flächen jünger als 10 Jahre	935	41%
	Umgebung landwirtschaftlich geprägt	647	29%

V Resultate der Modellierung

V.1 Erklärungen

Die Ergebnisse in der Spalte «estimate» sind in einer logistischen Regression als logit angegeben und deswegen nicht ganz einfach zu interpretieren. Die odds ratio, auch Chancenverhältnis (OR), vergleicht die Wahrscheinlichkeit von zwei Gruppen, z.B. Hindernis vorhanden und Hindernis nicht vorhanden. Bei einem Wert von 1 sind die Chancen gleich, Werte >1 stehen für eine höhere Chance der ersten Gruppe. So hat *Senecio* beispielsweise eine OR von 1.67 und somit ist bei einem Vorkommen von Hindernissen die Chance grösser *Senecio* anzutreffen, als wenn kein Hindernis vorhanden ist.

V.2 Ergebnisse GLM

Tab. 32 Zusammenstellung der Modellierung mit GLM. Estimate = logit = ln of odds = ln von Chance, OR= odds ratio = Chancenverhältnis.

Art	Habitat	Coefficients	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	OR	2.50%	97.50%	AIC	Mcfadden R2
<i>Senecio</i>	Wiese	(Intercept)	-1.4460	0.0706	-20.4940	2.00E-16	0.2355	0.2045	0.2697	1538	0.0995
		Hinderniss	0.5144	0.0681	7.5570	4.12E-14	1.6726	1.4656	1.9141		
		Deck_Veg_Kat	-0.2299	0.0558	-4.1210	3.77E-05	0.7946	0.7128	0.8872		
		BB_Kat	-0.2071	0.0687	-3.0160	0.00256	0.8130	0.7091	0.9284		
		Entwaesserung	-0.2520	0.0587	-4.2950	1.75E-05	0.7772	0.6932	0.8727		
		Intensivstreifen	0.3905	0.0780	5.0070	5.53E-07	1.4778	1.2725	1.7286		
<i>Solidago</i>	Wiese	(Intercept)	-2.9747	0.1223	-24.3310	2.00E-16	0.0511	0.0397	0.0643	658	0.0271
		Alter_Kat	-0.4179	0.1281	-3.2630	1.10E-03	0.6584	0.5062	0.8385		
		Intensivstreifen	-0.2673	0.1035	-2.5810	9.84E-03	0.7654	0.6257	0.9403		
<i>Erigeron</i>	Wiese	(Intercept)	-2.45157	0.0946	-25.9070	2.00E-16	0.0862	0.0712	0.1032	907	0.0159
		Hinderniss	-0.25604	0.0938	-2.7300	6.33E-03	0.7741	0.6423	0.9284		
		BB_Kat	0.22303	0.0850	2.6230	8.71E-03	1.2499	1.0558	1.4744		
<i>Rubus</i>	Wiese	(Intercept)	-3.2619	0.1476	-22.1040	2.00E-16	0.0383	0.0282	0.0504	582	0.0822
		Hinderniss	-0.3321	0.1374	-2.4180	1.56E-02	0.7174	0.5432	0.9332		
		Veg_Rasen_Wiese	0.4632	0.1909	2.4260	1.53E-02	1.5892	1.1267	2.4090		
		Intensivstreifen	-0.2713	0.1303	-2.0810	3.74E-02	0.7624	0.5924	0.9898		
		Veg_Uebergang_G	0.515	0.1255	4.1040	4.05E-05	1.6737	1.3245	2.1795		
<i>Rubus</i>	Gehölz	(Intercept)	-1.4562	0.2006	-7.259	3.91E-13	0.2331	0.1526	0.3380	197	0.0591
		Alter_Kat	-0.721	0.2373	-3.038	0.00238	0.4863	0.2885	0.7452		

V.3 Ergebnisse GLMM

Tab. 33 Zusammenfassung der GLMM Modellierung mit der Parametrierung, Schätzung der Varianz des zufälligen Parameters, Akaike information criterion (AIC) und likelihood ratio test der fixen Parameter.

Model	Dropped predictors	var random		AIC	pseudo R2	Likelihood ratio test		
		df	effect			χ^2	df	p
Senecio ~ Hinderniss + Veg_Rasen_Wiesen + Deck_Veg_Kat + BB_Kat + Entwaesserung + Intensivstreifen + Alter_Kat + Veg_Uebergang_Gehoelz + (1 TSA)		8	2.563	1360	0.248			
	BB_Kat + Alter_Kat + Veg_Uebergang_Gehoelz	5	2.524	1355	0.246	2.550	7	0.466
Solidago ~ Hinderniss + Veg_Rasen_Wiesen + Deck_Veg_Kat + BB_Kat + Entwaesserung + Intensivstreifen + Alter_Kat + Veg_Uebergang_Gehoelz + (1 TSA)		8	1.060	640	0.068			
	Hinderniss + Veg_Rasen_Wiesen + Deck_Veg_Kat + BB_Kat + Entwaesserung + Veg_Uebergang_Gehoelz	6	-	-	-	-	-	-
Erigeron ~ Hinderniss + Veg_Rasen_Wiesen + Deck_Veg_Kat + BB_Kat + Entwaesserung + Intensivstreifen + Alter_Kat + Veg_Uebergang_Gehoelz + (1 TSA)		8	0.947	852	0.000			
	Veg_Rasen_Wiesen + Deck_Veg_Kat + BB_Kat + Entwaesserung + Alter_Kat + Veg_Uebergang_Gehoelz	6	1.019	846	0.089	5.500	4	0.481
Senecio ~ Hinderniss + Veg_Rasen_Wiesen + Deck_Veg_Kat + BB_Kat + Entwaesserung + Intensivstreifen + Alter_Kat + Veg_Uebergang_Gehoelz + (1 TSA)		8	1.416	560	0.120			
	Veg_Rasen_Wiesen + Deck_Veg_Kat + BB_Kat + Entwaesserung	4	1.384	554	0.117	3.990	6	0.551

Glossar

AGIN: Die AGIN (Arbeitsgruppe invasive Neobiota) erarbeitete Merkblätter und Empfehlungen zur Bekämpfung von invasiven Neophyten. Sie bestand aus kantonalen Vertretern der Umweltschutzämter (KVU), des Natur- und Landschaftsschutzes (KBNL), der Forstämter (KOK), der Pflanzenschutzdienste (KPSD) sowie der Landwirtschaftsämter (KOLAS) sowie Experten und Branchenvertretern. Sie wurde 2019 durch den Cercle Exotique (CE) abgelöst.

ASTRA: Bundesamt für Strassen.

Bankett: Das Bankett ist in Fahrtrichtung rechts neben dem Pannestreifen angeordnet. Es ist befestigt und dient der Unterbringung verschiedener Ausstattungselemente. In diesem Bericht ist das Bankett ein Hindernis-Parameter. (nach ASTRA 11 001)

Black List / Schwarze Liste: Liste der invasiven Neophyten, bei denen aufgrund des aktuellen Kenntnisstands ein hohes Ausbreitungspotenzial in der Schweiz gegeben oder zu erwarten ist. Zudem ist der Schaden in den Bereichen Biodiversität, Gesundheit und/oder Ökonomie erwiesen und hoch. Vorkommen und Ausbreitung dieser Arten müssen verhindert werden. (Quelle Info Flora)

CE: 2019 wurde der Cercle Exotique als Nachfolgeorganisation der AGIN sowie der Plattform der kantonalen Neobiota-Fachleute eingesetzt. Der CE hat zum Ziel, die Kantone bei ihren Aufgaben gemäss Freisetzungsverordnung im Bereich invasiver Neobiota zu unterstützen. Im Vordergrund steht der Austausch zwischen den kantonalen Vollzugstellen sowie das Sicherstellen der Schnittstelle zur nationalen Steuerungsgruppe invasive gebietsfremde Arten.

Deckung (Verwendung im Bericht): Anteil des Bodens, der von der Vegetation bedeckt wird bzw. Anteil des Bodens, der von der erfassten Neophytenart bedeckt wird.

Entwässerung über die Schulter: Das Wasser auf der Fahrbahn wird auf breiter Front über die anschliessende Böschung weggeleitet.

Erfassung: Ein Vorkommen einer spezifischen Neophytenart und deren Deckung zusammen mit den Parametern welche die zugehörige Stichprobenfläche charakterisieren.

Erigeron (Verwendung im Bericht): Im Bericht ist damit immer *Erigeron annuus* gemeint.

Extensive Unterhaltszone: Die Extensive Unterhaltszone umfasst alle Grünräume ausserhalb eines Streifens von 2 – 4 Meter ab Fahrbahnrand. (nach ASTRA 18 007)

Gebietseinheiten (GE): Organisationseinheiten für den Unterhalt der Nationalstrassen.

Gefasste Entwässerung: Das Wasser auf der Fahrbahn wird in Schächten gefasst und über ein Kanalsystem weggeleitet.

GLM: vgl. nachfolgendes Kapitel II.3

GLMM: vgl. nachfolgendes Kapitel II.4

Hierarchische Partitionierung: vgl. nachfolgendes Kapitel II.2

Hindernisse: Mit Hindernissen werden im Bericht Einbauten und Ausstattungselemente der Nationalstrassen bezeichnet, die für den Unterhalt ein Hindernis darstellen und maschinell nur bedingt ausgemäht werden können. Sie müssen von Hand ausgemäht werden oder sind gar nicht mähbar. Typische und häufige Hindernisse sind Leitplanken und Wildschutzzäune.

Intensive Unterhaltszone: Die Intensive Unterhaltszone umfasst einen Streifen von 2 – 4 Meter ab Fahrbahnrand. Hier stehen Sicherheit und Verfügbarkeit sowie der wirtschaftliche Unterhalt der Nationalstrassen im Vordergrund. (nach ASTRA 18 007)

Intensivstreifen: In diesem Bericht ist damit die Intensive Unterhaltszone gemeint.

Intercept: Das Intercept in der logistischen Regression ist der vorhergesagte Wert, wenn alle unabhängigen Parameter null sind.

Invasiver Neophyt: Neophytenart, die sich stark und rasch ausbreiten und dadurch Schäden verursacht. (Quelle Info Flora)

Korrelation: vgl. nachfolgendes Kapitel II.1

Neophyt (generelle Definition): Gebietsfremde Pflanzenart, die nach 1500 durch menschliche Aktivitäten absichtlich oder unabsichtlich eingeführt wurde und wildlebend etabliert ist. (Quelle Info Flora)

Neophyt (Verwendung im Bericht): Im Bericht wird der Begriff "Neophyt" immer im Sinne von «invasiver Neophyt» verwendet.

Parameter (Verwendung im Bericht): Als Parameter werden diejenigen Standortmerkmale bezeichnet, die in den Feldarbeiten erfasst wurden, um das Vorkommen der erfassten Neophyten charakterisieren.

PCA (Principal Component Analysis): Die Hauptkomponentenanalyse dient dazu, umfangreiche Datensätze zu visualisieren und zu vereinfachen, indem die Beziehungen einer Vielzahl von Variablen auf wenigen Hauptkomponenten abgebildet werden.

Prädiktor (Verwendung im Bericht): Als Prädiktor werden diejenigen unabhängigen Standortmerkmale bezeichnet, die in die Modellierungen eingeflossen sind, um das Vorkommen der untersuchten Neophyten vorherzusagen.

Rubus (Verwendung im Bericht): Im Bericht ist damit immer *Rubus armeniacus* gemeint.

Senecio (Verwendung im Bericht): Im Bericht ist damit immer *Senecio inaequidens* gemeint.

Solidago (Verwendung im Bericht): Im Bericht ist damit immer *Solidago canadensis* aggr. (*Solidago canadensis* und *Solidago gigantea*) gemeint.

Stichprobenfläche: Eine in sich einheitlich erscheinende Fläche auf der die Neophyten sowie die Parameter erfasst wurden, welche die Stichprobenfläche charakterisieren.

Teststreckenabschnitt: Abschnitt auf der Nationalstrasse von 5 km Länge, auf dem alle 200 m die Neophyten in einem Transekt erfasst wurden. Die Erfassungen erfolgten auf insgesamt 20 Teststreckenabschnitten jeweils in einer Fahrtrichtung.

Transekt: Ein schmaler Streifen von 10 m Breite (Vegetationstypen ohne Gehölze) oder 20 m Breite (Gehölze) auf denen die Neophyten erfasst wurden. Die Transekte waren jeweils in einem Abstand von 200 m platziert.

Vegetationstypen: Die Definition der Vegetationstypen erfolgt gemäss der Richtlinie ASTRA 18 007.

Watch List / Beobachtungsliste: Liste der invasiven Neophyten, bei denen ausgehend vom heutigen Kenntnisstand ein mittleres bis hohes Ausbreitungspotenzial in der Schweiz gegeben oder zu erwarten ist. (Quelle Info Flora)

Literaturverzeichnis

ASTRA (2011): Betrieb NS – Tätigkeitsverzeichnis, ASTRA 86 063.

ASTRA (2013): Technisches Merkblatt Grünpflege: Bekämpfung Neophyten, ASTRA Nr. 26010-03020.

ASTRA (2014): Dokumentation 88 012, Zustandsanalyse der Grünräume an den Nationalstrassen. (unveröffentlicht).

ASTRA (2015): Richtlinie ASTRA Nr. 18 007, Grünräume an Nationalstrassen – Gestaltung und Betrieblicher Unterhalt.

ASTRA (2015): Betrieb NS – Teilprodukt Grünpflege, ASTRA 16 230.

ASTRA (2016): Richtlinie ASTRA 18 007 Grünräume an Nationalstrassen. Gestaltung und Betrieblicher Unterhalt.

ASTRA (2021): Normalprofile, Rastplätze und Raststätten der Nationalstrassen, ASTRA 11 001.

ASTRA (2021); Fachhandbuch Trasse / Umwelt (FHB T/U), ASTRA 21 001.

BABS (2015): Nationale Gefährdungsanalyse – Gefährdungsdossier Massenausbreitung invasiver Arten.

Baudirektion des Kantons Zürich: <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/umweltschutz/gebietsfremde-arten.html>.

Bundesamt für Statistik (BFS, 2018): Infrastruktur und Streckenlänge. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/streckenlaenge.html>.

Bundesamt für Umwelt (BAFU, 2015): Boden und Bauen, Stand der Technik und Praktiken.

Bundesamt für Umwelt (BAFU, 2016): Strategie der Schweiz zu invasiven gebietsfremden Arten. BAFU, Bern.

Bundesamt für Umwelt (BAFU, 2017): Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz. BAFU, Bern.

Bundesamt für Umwelt (BAFU, 2021): Verwertung von Aushub und Ausbruchmaterial. BAFU, Bern.

Cercle Exotique (2016): Umgang mit abgetragenen Boden, der mit invasiven gebietsfremden Pflanzen nach Anhang 2 FrSV belastet ist.

Dormann et al. (2013). Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*. 36. 27-46.

Cramer, J. (1999). Predictive Performance of the Binary Logit Model in Unbalanced Samples. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)*, 48(1), 85-94.

FORNAT (2015): Schmalblättriges Greiskraut: Monitoring und Bekämpfung im Kanton Zürich Zwischenbericht 2014.

Gries, Stefan (2012): "Statistische Modellierung", de Gruyeter, p38 -67.

Haag, S. et al. (2013): Profitieren invasive Neophyten von Flussrevitalisierungen? In Naturschutz und Landschaftsplanung 45 (12), p 357-364.

Haag, S. & Krüsi B.O. (2014): Invasive Neophyten an Fließgewässern. In Naturschutz und Landschaftsplanung 46 (9), p 273-282.

Info Flora: Neophyten, Listen und Infoblätter: <https://www.infoflora.ch/de/neophyten/listen-und-infoblätter.html>.

KKVA (2011): Richtlinie Amtliche Vermessung, Detaillierungsgrad der amtlichen Vermessung, Informationsebene Bodenbedeckung.

Klose (2015): Microsoft azure machine learning.

Kollmann, J. (2019): Neuartige Ökosysteme und invasive Neobiota. In Renaturierungsökologie, p 435-447. Springer Spektrum.

Kowarik, I. (2010): Biologische Invasionen Neophyten und Neozoen. 2. Auflage. Ulmer.

Kuhn et al. (2016): Classification and Regression Training. R package version 6.0-71. <https://CRAN.R-project.org/package=caret>.

McFadden, D. (1974): "Conditional logit analysis of qualitative choice behavior." Pp. 105-142 in P. Zarembka (ed.), Frontiers in Econometrics. Academic Press.

Mbachu, H & Nduka, Ethelbert & Nja, Mbe. (2012): Designing a Pseudo R-Squared Goodness-of-Fit Measure in Generalized Linear Models. Journal of Mathematics Research. 4. 10.5539/jmr. v4n2 p148.

McFadden, D. (1977): Quantitative methods for analyzing travel behavior of individuals: some recent developments.

Nentwig, W. (2010): Invasive Arten, Haupt, Bern.

Nobis et. al. (2020): Automatisierte Erfassung invasiver Neophyten an Autobahnen, VSS 2016/224.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Redon de Colombier, L. (2008): Intérêts écologiques des bords de route en milieu agricole intensif. Thèse de doctorat, Muséum national d'Histoire Naturelle, E.D. 227 Science de la nature et d'homme. 190 Seiten.

VSS: Grünräume, Grundlagen und Projektierung, VSS Norm 640 660c.

VSS: Grünräume, Begrünung, Saatgut, Mindestanforderungen und Ausführungsmethoden, VSS Norm 640 671c.

VSS: Grünräume, Bepflanzung, Ausführung: Bäume und Sträucher, Artenwahl, Beschaffung und Pflanzung, VSS Norm 640 675.

VSS: Grünräume, Planungsverfahren, VSS Norm 640 691.

VSS: Grünräume, Unterhalt der Bepflanzung: Aufgaben und Durchführung, VSS Norm 640 725b.

Systematische Gesetzessammlung des Bundes: „Verordnung vom 10. September 2008 über den Umgang mit Organismen in der Umwelt (Freisetzungsverordnung, FrSV)“, SR 814.911.

Zuur, A., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007): Analyzing ecological data. Springer Science & Business Media.

Zuur, A., Ieno, E., & Elphick, C. (2010): A protocol for data exploration to avoid common statistical problems: Data exploration. *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 3-14.

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 21. Juli 2021

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2018/229

Projekttitel: Neophytenprävention an Nationalstrassen

Enddatum: 31. August 2021

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Bei den Felddatenerhebungen wurden in den 2264 Erfassungen insgesamt 926 Vorkommen von invasiven Neophytenarten aus 13 Arten erfasst. Für die Bearbeitung im Projekt wurden die vier häufigsten Arten ausgewählt: *Senecio inaequidens* – Schmalblättriges Greiskraut (459 Erfassungen), *Erigeron annuus* – Einjähriges Berufskraut (155 Erfassungen), *Solidago canadensis* aggr. – Kanadische Goldruten (97 Erfassungen) und *Rubus armeniacus* – Armenische Brombeere (124 Erfassungen). Während *Senecio* in jeder fünften Erfassung vorkam (20.3%) sind die anderen drei Arten in rund jeder zwanzigsten Erfassung vorhanden.

Zusammenfassend kann für das Vorkommen der vier untersuchten Neophytenarten festgestellt werden.:

Senecio: Kommt in allen Vegetationstypen vor, fehlt aber in Gehölzen - Findet sich selbst auf befestigten Flächen häufig - Konzentriert sich im Bereich von Hindernissen und im Bankett – Bevorzugt eher lockere Bestände – Tritt häufig im Intensivstreifen auf

Erigeron: Findet sich gehäuft in Rasen, Wiesen und Magerwiesen – Kommt in Gehölzen nicht vor – Kommt kaum vor in Flächen mit Hindernissen

Solidago: Findet sich gehäuft im Saum (Übergangsbereich zwischen Wiesen und Gehölzen) – Kommt in Gehölzen und Ruderalflächen kaum vor – Findet sich eher in älteren Grünräumen

Rubus: Ist die einzige der untersuchten vier Arten mit einer klaren Bevorzugung von Gehölzen – Findet sich gehäuft im Gehölz und im Saum (Übergangsbereich zu Gehölzen) – Kommt kaum vor in Rasen, Wiesen, Magerwiesen und Ruderalflächen – Findet sich eher in älteren Gehölzen – Kommt im Bereich von Hindernissen kaum vor



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Gemäss Beschrieb sollen mit dem Projekt Faktoren identifiziert werden, die das Auftreten von invasiven Neophyten entlang von Verkehrswegen begünstigen oder hemmen (Ursache-Wirkungsmuster).

Dieses Ziel ist für die erwähnten 4 Neophyten erreicht worden. Dabei muss festgehalten werden, dass sich die Ursache-Wirkungsmuster für jede der vier Arten unterschiedlich darstellen. Es gilt daher innerhalb der Projekte klare Prioritäten zu setzen.

Die Resultate und Empfehlungen des Projektes können genutzt werden, um die Ansiedlung und Ausbreitung von Neophyten an Nationalstrassen möglichst weitgehend zu verhindern und damit langfristig den Aufwand für die Bekämpfung zu reduzieren.

Folgerungen und Empfehlungen:

Auf der Basis der Projektergebnisse und von Befragungen von Fachleuten werden im Projekt 14 Empfehlungen für die Projektierung und 3 Empfehlungen für den Unterhalt formuliert.

Der Grossteil dieser Empfehlungen kann in den Projekten ab sofort umgesetzt werden. Es ist aber zentral, dass die Erkenntnisse aus dem Projekt unmittelbar zugänglich sind und in die Projektierungsgrundlagen einfließen.

Einmal mehr hat sich gezeigt, dass die Schnittstelle zwischen Projektierung und Unterhalt zentral für eine erfolgreiche Prävention und damit Reduktion des Unterhaltsaufwandes ist.

Publikationen:

Un article dans la revue VSS serait opportun.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Buser

Vorname: Hans

Amt, Firma, Institut: Beriana Hans Buser

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Le projet a été conduit de façon professionnelle et rigoureuse et malgré la pandémie a subi peu de retard. L'objectif de la recherche a pu être rempli. La méthode scientifique était bien adaptée à la question, le choix aléatoire des relevés, le choix des facteurs à considérer et le traitement statistique à permis une approche qui est reproductible. Aucun facteur ne semble peser de façon particulièrement prévalente, mais certains facteurs ont pu être éliminés, ce qui aide à mieux comprendre la problématique et fournira une base précieuse pour d'autres recherches.

Umsetzung:

Les résultats donnent des pistes utiles et importantes pour la prévention contre la colonisation des surfaces vertes par les néophytes invasives. La période d'ensemencement des espaces verts dans la phase de chantier, le contrôle des néophytes les quelques années après le chantier dans la période de garantie, la difficulté ou facilité d'entretenir les espaces verts par rapport aux différents obstacles présentés par le mobilier routier, la coordination entre projet et entretien, le positionnement de la clôture à faune, sont tous des facteurs qui jouent un rôle déterminant. Une information des chefs de projets concernant ces aspects est nécessaire. Ces résultats doivent être bien disséminés.

weitergehender Forschungsbedarf:

Il serait important de formuler sur la base de cette recherche des recommandations concernant la prévention de la propagation des néophytes invasives le long des axes de transport. Un suivi est important. Il serait aussi important de vérifier ces résultats sur d'autres types de routes ou infrastructures de transport.

Einfluss auf Normenwerk:

Eventuellement les normes 40 671 et 40 660 auraient besoin d'être encore mieux précisés concernant les périodes d'ensemencement.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Trocmé

Vorname: Marguerite

Amt, Firma, Institut: ASTRA

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

23.8.21 M-Trocmé