



Begrünte Stützgitter- böschungssysteme

Vegetated support grid embankment systems

Murs végétalisés avec grille de soutènement

SKK Landschaftsarchitekten AG, Wettingen
Beat Stöckli, lic. phil. nat., Biologe
Peter Steinauer, Dipl.-Ing. Landschaftsarchitekt FH BSLA/SIA

CSD INGENIEURE AG, St. Gallen
Jens Bohne, Dipl. Ing. Agronom SIA
Martina Gysin, BSc Umweltingenieurin FH
David Schwarz, BSc LST Umwelttechnologie FH

NATURALBLUE, Belp
Beat Scheuter, Dipl.-Ing. Landschaftsarchitekt FH

**Forschungsauftrag VSS 2009/601 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten 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 l' (les) auteur(s) mandaté(s) par 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)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

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

The content of this report engages only the author(s) commissioned 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

Begrünte Stützgitter- böschungssysteme

Vegetated support grid embankment systems

Murs végétalisés avec grille de soutènement

SKK Landschaftsarchitekten AG, Wettingen
Beat Stöckli, lic. phil. nat., Biologe
Peter Steinauer, Dipl.-Ing. Landschaftsarchitekt FH BSLA/SIA

CSD INGENIEURE AG, St. Gallen
Jens Bohne, Dipl. Ing. Agronom SIA
Martina Gysin, BSc Umweltingenieurin FH
David Schwarz, BSc LST Umwelttechnologie FH

NATURALBLUE, Belp
Beat Scheuter, Dipl.-Ing. Landschaftsarchitekt FH

**Forschungsauftrag VSS 2009/601 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Peter Steinauer, Dipl.-Ing. Landschaftsarchitekt FH BSLA/SIA

Mitglieder

Beat Stöckli, lic. phil. nat., Biologe

Jens Bohne, Dipl. Ing. Agronom SIA

Beat Scheuter, Dipl.-Ing. Landschaftsarchitekt FH

Federführende Fachkommission

Fachkommission 6, Umwelt und Unterhalt

Begleitkommission

Präsident

Peter Steinauer, SKK Landschaftsarchitekten AG, Wettingen

Mitglieder

Roger Beer, Genève

Christoph Benkler, Stadtgärtnerei, Basel

Alex Borer, Stadtgärtnerei, Winterthur

Matthias Brunner, Matthias Brunner AG, Zürich

Anton Burkart, Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

Johannes Burri, fenaco Wildblumen, Winterthur

Niklaus Gysel, Amt für Landschaft und Natur Kanton Zürich, Winkel b. Bülach

Markus Kressibucher, Forstbaumschule, Berg TG

Albert Müller, SBB Infrastruktur, Bern

André Schenker, Münchenstein

Marguerite Trocmé, ASTRA, Bern

Laurence von Fellenberg, BAFU, Bern

Peter S. Weiller, Büro für Wald, Landschaft, Natur, Rudolfingen

Michael Zanetti, CSD Ingenieure AG, Zürich

KO-Finanzierung des Forschungsauftrags

Bundesamt für Umwelt (BAFU), 3003 Bern

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	10
	Summary	13
1	Einführung	16
1.1	Ausgangssituation	16
1.2	Ziele	18
2	Methoden	19
2.1	Auswahl der Objekte	19
2.1.1	Sammeln der Objekte	19
2.1.2	Screening der Objekte	19
2.1.3	Untersuchung der Objekte	20
2.1.4	Dokumentation der Objekte	20
2.2	Bodenuntersuchungen	20
2.2.1	Niederschlag	20
2.2.2	Wassergehalt	20
2.2.3	Korngrößenverteilung	21
2.2.4	Nährstoffgehalte	21
2.3	Vegetationsuntersuchungen	23
2.3.1	Feldaufnahme Vegetation Frontseite	23
2.3.2	Deckung der Vegetation	23
2.3.3	Analyse der Aufnahmen	26
2.3.4	Momentaufnahme Fauna	26
2.4	Befragung	27
2.5	Dokumentation	27
3	Übersicht über Einsatz und Zustand von Stützgitterböschungen in der Schweiz ..	28
3.1	Systeme und Erhaltungszustand	28
3.1.1	Systeme	28
3.1.2	Produkte	29
3.2	Lage, Alter und Zustand der untersuchten Objekte	29
3.2.1	Stützgitter	29
3.2.2	Front-Geokunststoff	30
3.2.3	Vegetation	31
3.2.4	Gesamtbeurteilung	33
3.3	Pflege und Unterhalt	33
3.4	Schäden und Störfälle	34
4	Eigenschaften der Substrate von Stützgitterböschungen	35
4.1	Korngrößen	35
4.1.1	Boden vs. Substrat	35
4.1.2	Befunde in den Objekten	35
4.1.3	Übersicht Befunde	37
4.2	Nährstoffe, pH-Wert und Salzgehalt	37
4.2.1	Befunde in den Objekten	37
4.2.2	Übersicht Befunde	39
4.3	Wassergehalt	40
4.3.1	Niederschlag	40
4.3.2	Befunde in den Objekten	41
4.3.3	Übersicht Befunde	42
5	Vegetation ausgewählter Stützgitterböschungen	43

5.1	Untersuchte Objekte	43
5.1.1	Untersuchungsobjekte	43
5.1.2	Vegetationsaufnahmen	44
5.2	Arten.....	44
5.2.1	Durchschnittliche Artenzahl	44
5.2.2	Liste aller Arten	46
5.2.3	Angesäte und gepflanzte Arten	49
5.2.4	Spontan aufgekommene Arten	50
5.2.5	Besondere Arten	53
5.2.6	Zugehörigkeit zu soziologisch-ökologischen Gruppen	54
5.3	Deckung der Vegetation	55
5.3.1	Gesamtdeckung.....	55
5.3.2	Artmächtigkeit angesäter und spontaner Arten	58
5.3.3	Abundanz der Lebensformen.....	63
5.4	Standorteigenschaften	65
5.5	Lebensraum für Tiere.....	67
5.5.1	Schnecken	67
5.5.2	Eidechsen	67
5.5.3	Mäuse	67
6	Ergebnisse und Folgerungen	69
6.1	Vegetation an Stützgitterböschungen.....	69
6.2	Standort.....	74
6.2.1	Temperatur.....	74
6.2.2	Wind	74
6.2.3	Substrat.....	74
6.2.4	Feuchtigkeit.....	75
6.2.5	Nährstoffe.....	76
6.2.6	pH.....	76
6.2.7	Streusalz	76
6.3	Anforderungen an die Begrünung und Bepflanzung	77
7	Anwendung der Ergebnisse	80
7.1	Systemwahl.....	80
7.1.1	Stützsystem	80
7.1.2	Bewehrung.....	82
7.1.3	Vegetationsbild	82
7.2	Begrünung.....	83
7.2.1	Ansaaten	83
7.2.2	Gehölze.....	84
7.3	Pflege	84
7.3.1	Ziele	84
7.3.2	Pflege der Feldschicht	85
7.3.3	Pflege der Gehölze	87
7.4	Weitere Untersuchungen	87
	Anhänge.....	88
	Abkürzungen.....	99
	Literaturverzeichnis	100
	Projektabschluss.....	103
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen.....	106

Zusammenfassung

Begrünte Stützgitterböschungssysteme

Zustand, Vegetation und Verbesserungsvorschläge für Systemwahl und nachhaltige Begrünung

Ausgangssituation und Ziele

Der Ausbau und die Ertüchtigung der Verkehrsinfrastruktur - Strasse und Schiene - schreiten voran. Neben den massgebenden verkehrstechnischen Zielgrössen sind gleichermaßen die Anforderungen des Ortsbild- und Landschaftsschutzes und insbesondere des Lärmschutzes umzusetzen. Begrünbare Lärmschutzsysteme aus Materialien vor Ort, also normal geneigte Wälle sowie Steilwälle, schneiden bezüglich Ökobilanz und Erstellungskosten besonders gut ab.

Die Konstruktion von begrünbaren Steilwällen, Steilböschungen und Stützbauwerken basiert auf dem Prinzip der mit Geokunststoffen bewehrten Erde. Die heute am meisten eingesetzten Systeme werden in der Norm SN 640 621 als Stützgitterböschungssysteme bezeichnet. Deren Vorteile sind vielfältig: Kostengünstig, flexibel einsetzbar, rationeller Aufbau, geringer Anteil und geringes Transportvolumen an Fremdmaterial und schliesslich die Möglichkeit der vollflächigen Begrünung. Unbefriedigende Erfahrungen mit begrünnten Lärmschutzsteilwällen sowie Eindrücke von anderen Objekten lassen an der Begrünbarkeit jedoch zweifeln. Detaillierte Untersuchungen sollen nun den tatsächlichen Zustand der Objekte dokumentieren und dazu beitragen, den besonderen Standort Steilböschung besser zu verstehen, die Systemwahl zu verbessern sowie Begrünung und Pflege zu optimieren.

Methoden

Aus einer losen Sammlung von bestehenden Stützgitterböschungen werden auf Grund ihres fortgeschrittenen Alters und der guten Erreichbarkeit 40 sogenannte Screening-Objekte ausgewählt. Sie werden aufgesucht, anhand vorgegebener Fragestellungen erfasst, fotografiert und bezüglich Zustand Stützgitter, Front-Geokunststoff und Vegetation begutachtet. Aus der Liste der Screening-Objekte werden anschliessend 14 Objekte zur detaillierten Untersuchung von Substrat und Pflanzendecke evaluiert. Die Entnahme der Substratproben erfolgt im Jahr 2011 in den Monaten Juni und Oktober an sechs Objekten, die Aufnahme der Vegetation im selben Zeitraum, aber an vierzehn Objekten. Die Substrate werden bezüglich Wassergehalt, Korngrössenverteilung, Nährstoff- und Salzgehalt sowie pH analysiert. Bei der Vegetation werden auf Stichprobeflächen Arten, Artmächtigkeiten, Gesamtdeckung und Abundanz der Lebensformen bestimmt. Angetroffene besondere Tierarten werden notiert.

Ergebnisse

Die technischen Bauteile der beurteilten Stützgitterböschungen - Gitter und Front-Geokunststoff - sind grossmehrheitlich einwandfrei. Bei der Vegetation der Front zeigen jedoch nur 2/3 der Objekte eine mehrheitlich gute Entwicklung; 1/3 der Begrünungen, vor allem südexponierte, sind schlecht bis sehr schlecht. Die befragten Unterhaltsdienste äussern sich bei der Hälfte ihrer Objekte bezüglich Vegetation kritisch oder eigentlich enttäuscht. Die Substrate entsprechen im Grossen und Ganzen der Siebkurve, wie sie die Richtlinie des Kantons Aargau für Stützgitterböschungen vorgibt. Die Nährstoffgehalte liegen eher im tiefen bis mittleren Bereich. Die höchsten Wassergehalte werden entweder in der Böschungskrone oder im Böschungsfuss gemessen, die geringsten in der Böschungsmitte.

An den untersuchten Stützgitterböschungen können auf 12 m² grossen Stichprobeflächen im Schnitt 16 Pflanzenarten gefunden werden. 7% aller Arten sind Moose oder Flechten, 3% Farne oder Schachtelhalme, 14% Gräser, 62% krautige und 14% holzige Pflanzen. 82% aller Arten sind mehrjährig, 18% ein- oder zweijährig. Auffällig, aber für den Standort typisch ist die hohe Zahl von Arten, die sehr tief wurzeln. Ebenfalls gut vertreten sind Arten, die mittels Spross- oder Wurzeläusläufern in die Breite wachsen und

neue Tochterpflanzen bilden können. Insgesamt konnten 148 Pflanzenarten angesprochen werden. 26% sind mit hoher Wahrscheinlichkeit angesät oder gepflanzt, 74% spontan aufgekommen. Angesichts des besonderen Standorts verwundert nicht, dass 60 von 82 als spontan registrierten Arten mit dem Wind gekommen sind. Praktisch alle spontanen Arten sind nicht gefährdet und fast durchwegs weit verbreitet. Auf Grund des Artenspektrums und der nachgewiesenen ökologischen Gruppen lässt sich die Vegetation der mehr als 3 Jahre alten Steilböschungen am ehesten den halbruderalen Halbtrockenrasen sowie den frischen Saumgesellschaften zuweisen. Anhand der Zeigerwerte für Feuchtigkeit, Nährstoff- und Basenversorgung lassen sich die untersuchten Objekte in vier Gruppen gliedern. Die erste Gruppe ist durch nährstoffarme und trockene Bedingungen charakterisiert und entspricht den Zeigerwerten normal geneigter Magerrasen. Die anderen drei Gruppen erweisen sich als ausreichend mit Nährstoffen und Wasser versorgt.

Die durchschnittliche Gesamtdeckung aller untersuchten Objekte beträgt 66% bei einer sehr grossen Standardabweichung von 26.2%. Mit zunehmendem Alter ändert sich die Gesamtdeckung nicht signifikant, aber die Deckung der angesäten sowie der spontanen Arten. Die ersteren verlieren an Deckung, während die spontan aufgekommenen Arten ihre Flächenanteile vergrössern. Deutlich zeigt sich die Abhängigkeit von der Exposition: In sonnigen Lagen ist die Gesamtdeckung am geringsten, in schattigen Lagen am höchsten. Dies ist vor allem den Moosen und Farnen zu verdanken, die sich auf offenen Böschungsbereichen feuchter Lagen etablieren können.

Anforderungen an die Begrünung

Gemäss der Richtlinie des Kantons Aargau für Bauwerke aus bewehrter Erde muss die begrünte Front von Stützgitterböschungen bestimmte Anforderungen erfüllen. Die Untersuchung ergibt, dass die untersuchten Objekte diese Anforderungen nur teilweise oder gar nicht erfüllen.

- Standortgerechte Artenzusammenstellung: Die beobachteten und als angesät eingeschätzten Arten können grundsätzlich als geeignet taxiert werden. Allerdings fallen sie zunehmend aus und werden von spontan aufgekommenen Arten abgelöst.
- Vollflächiger Deckungsgrad an der Konstruktionsfront: Bei den untersuchten Objekten erfüllt die Vegetation diese Anforderung nicht. Die Gesamtdeckung beträgt durchschnittlich nur 66 %, wobei schattige Stützgitterböschungen dank der Moose besser bewachsen sind als sonnige.
- Intensive Durchwurzelung an der Konstruktionsfront mit Tiefenwirkung: Eine Durchwurzelung mit Tiefenwirkung kann auf Grund der vorkommenden Pflanzenarten angenommen werden. Angesichts der mangelhaften Deckungswerte stellt sich die Frage, ob die Durchwurzelung intensiv genug ist.
- Etablierung und langfristige Weiterentwicklung der Pflanzen: Die geforderte langfristige Weiterentwicklung ist nur gewährleistet, wenn sich die Arten am Standort durch Absamen oder Ausläuferbildung verjüngen können. Horstwüchsige Gräser und viele Kräuter leben nur drei bis fünf Jahre und sind existentiell auf ihre Samenbildung und die Etablierung von samenbürtigen Jungpflanzen angewiesen. Rasenbildende Gräser können sich generativ über Ausläufer verjüngen. Die generell ungünstigen Bedingungen für Keimung und Keimlingsentwicklung an den Steilböschungen erschweren insbesondere die Weiterentwicklung der Horstgräser und der Kräuter, die sich aus Samen verjüngen. Die langfristige Weiterentwicklung der Pflanzen ist deshalb ungewiss.
- Überdauern von sommerlichen Trockenperioden: Die Anforderung wird von den stark besonnten Objekten nicht erfüllt.
- Minimierung der kostenintensiven Unterhaltsarbeiten: Dem Objekt nicht angemessenes Arbeiten oder ungeeignete Geräte beschädigten anfänglich etliche Stützgitterböschungen. Die anschliessende Entwicklung von Spezialmähern, die Zumiete von Spezialgeräten oder der Beizug von Spezialfirmen verursachen höhere Kosten als prognostiziert.

Folgerungen und Empfehlungen

- An voll sonnigen Standorten bewähren sich begrünte Stützgitterböschungen nicht. Für die Stützfunktion sind andere Lösungen zu wählen.
- Stützgitterböschungen über 2.5m erhalten in der Böschungsmitte zu wenig Feuchtigkeit, was das Fortkommen der Pflanzen einschränkt. Hohe Stützgitterböschungen sind mit Bermen abzustufen und die Bermen mindestens 60 cm breit anzulegen. Wenn dazu der Platz fehlt, sind andere Lösungen zu wählen.
- Bei den Geokunststoffen der Front sind nur Wirrgelege und diese in hellen Farbtönen einzusetzen. Die Stäbe der Stützgitter müssen verzinkt sein.
- Es muss klar kommuniziert werden, dass in der Standzeit der Konstruktion im besten Fall stark ruderal geprägte, saumartige Pflanzenbestände mit regelmässiger Präsenz von neophytischen Hochstauden und sog. Unkräutern das Vegetationsbild prägen. Da die Vegetation durchschnittlich nur 2/3 der Fläche deckt, sind Eisengitter und Front-Geokunststoff immer sichtbar.
- Für die Ansaatmischungen werden als Dauergräser fünf Rasengrasarten sowie zwei Horstgrasarten empfohlen. Andere Horstgräser stellen sich spontan ein. Als geeignete Kräuter sind Arten aufgelistet, die meist tief wurzeln, sich auch in eher trockenen Bedingungen bewähren und schöne Blühaspekte bilden. Es kann mit weiteren, spontan aufgekommenen Blütenpflanzen gerechnet werden.
- Gehölze werden am sinnvollsten mit steinverfüllten Fronten kombiniert. Es können zwölf Arten empfohlen werden, die sich an Stützgitterböschungen bewährt haben. Die Wurzeln der Gehölze müssen mit Drahtgittern gegen nagende Mäuse geschützt werden.
- Die Pflege der begrünten Stützgitterböschungen besteht in der geeigneten Mahd. Eine Düngung erübrigt sich. Häufigkeit und Zeitpunkte der Mahd sind unterschiedlich und auf Lage, Vegetationstyp und Ziele des Objekts abzustimmen.

Résumé

Schlussberichte mit mehr als 150 Seiten Umfang müssen mit einer Kurzfassung von rund 10 Textseiten in der Originalsprache und den entsprechenden Übersetzungen in zwei Sprachen versehen sein. Total Zusammenfassung (in d, f und e) ca. 30 Seiten

Murs végétalisés avec grille de soutènement

Situation actuelle, végétation et suggestions d'améliorations concernant le choix du système et une végétalisation durable

Situation initiale et objectifs

Le développement et le renforcement des infrastructures de transport – rues et rails – évoluent. Outre les conditions techniques requises, il faut remplir au même titre les exigences en termes de protection du paysage et des caractéristiques locales et en particulier de protection contre le bruit. Les systèmes de protection contre le bruit végétalisables à partir de matériaux sur place, c'est-à-dire les murs à inclinaison normale et les murs à pic, permettent d'obtenir des résultats particulièrement bons en termes de bilan écologique et de coûts de fabrication.

La construction de murs à pic végétalisables, de remblais à parement vertical et de structures de soutènement repose sur le principe de sol renforcé par géotextiles. Les systèmes les plus utilisés aujourd'hui sont appelés dans la norme SN 640 621 murs avec grille de soutènement. Ces derniers présentent de multiples avantages: prix avantageux, flexibilité d'utilisation, construction rationnelle, faible pourcentage et faible volume de transport en termes de corps étrangers et enfin possibilité de végétalisation. Néanmoins, certaines expériences et impressions négatives avec des murs antibruit et diverses autres structures sèment le doute sur leur capacité à être végétalisés. Des études détaillées doivent désormais documenter l'état réel des objets et contribuer à comprendre les particularités locales pour le remblai à parement vertical, à améliorer le choix du système et à optimiser leur végétalisation et leur entretien.

Méthodes

On sélectionne 40 structures dites d'analyse à partir d'un ensemble de murs avec grille de soutènement existants sur la base de leur âge avancé et de leur bonne accessibilité. Ils sont observés, saisis à l'aide de questionnaires donnés, photographiés et font l'objet d'une expertise portant sur l'état de la grille de soutènement, le géotextile frontal et la végétalisation. On évalue ensuite 14 des structures figurant sur la liste pour un examen approfondi du substrat et de la couverture végétale. Le prélèvement des échantillons de substrat a lieu en juin et octobre 2011 sur six structures, l'analyse de la couverture végétale durant la même période mais sur 14 structures. Sur les substrats, on analyse la teneur en eau, la granulométrie, la teneur en nutriment et en sel ainsi que le pH. Sur les surfaces de végétation prélevées, on détermine les espèces, l'abondance des espèces, la couverture globale et l'abondance des formes de vie. Les espèces animales particulières observées sont consignées.

Résultats

Les composantes techniques des murs avec grille de soutènement évalués – la grille et le géotextile frontal – sont pour la plupart intacts. Toutefois, pour la végétation frontale, seuls 2/3 des objets présentent une bonne évolution dans l'ensemble; 1/3 des végétalisations, en particulier celles avec une exposition Sud, sont mauvaises à très mauvaises. Côté végétation, les services d'entretien sondés se montrent critiques, pas totalement satisfaits ou simplement déçus pour la moitié de leurs objets. Les substrats correspondent grosso modo à la granulométrie prescrite par la directive du canton d'Argovie pour les murs avec grille de soutènement sélectionnés. Les teneurs en éléments nutritifs stagnent à des niveaux de plutôt faibles à moyens. Les plus fortes teneurs en eau sont mesurées soit en haut du mur, soit juste en dessous ou au niveau du pied, les plus basses au milieu du mur.

Sur les murs avec grille de soutènement examinés, on peut trouver en moyenne 16 espèces de plantes sur une surface d'échantillon de 12 m². 7% de toutes les espèces sont des mousses ou des lichens, 3% des fougères ou des prêles, 14% des graminées, 62% des plantes herbacées et 14% des plantes ligneuses. 82% d'entre elles sont pérennes, 18% d'une durée de vie d'un ou deux ans. Fait frappant et caractéristique du site: bon nombre d'espèces ont des racines très profondes. Il y a aussi beaucoup d'espèces qui poussent en largeur via des stolons ou des drageons et peuvent former de nouvelles plantes filles. 148 espèces en tout ont pu être adressées. 26% d'entre elles ont très probablement été semées ou plantées, 74% sont sauvages. Au vu de la particularité du site, il n'est pas étonnant que sur les 82 espèces sauvages enregistrées, 60 aient été portées par le vent. La quasi-totalité des espèces sauvages ne sont pas menacées et sont disséminées presque partout. Sur la base de l'éventail d'espèces et des groupes écologiques identifiés, on peut classer la végétation des remblais à parement vertical de plus de 3 ans de préférence dans les formations herbeuses semi-sèches semi-rudérales et dans les communautés de plantes d'orée fraîches. Les structures examinées peuvent être classées en quatre groupes en fonction de valeurs indicatives en termes d'humidité, d'apport en nutriments et de base. Le premier groupe se caractérise par un environnement peu nutritif et sec, et correspond aux valeurs indicatives des formations herbeuses maigres. Les trois autres groupes se révèlent être suffisamment approvisionnés en nutriments et en eau.

La couverture globale moyenne de toutes les structures analysées représente 66%, avec un écart standard immense de 26,2%. Au fil du temps, un changement significatif est observé non pas sur la couverture globale mais sur la couverture des espèces semées et sauvages. Les premières perdent du terrain tandis que les secondes se propagent. Cette tendance dépend clairement de l'exposition: couverture globale minimale dans les sites ensoleillés, couverture globale maximale dans les sites ombragés. Cela s'explique surtout par la présence de mousses et de fougères qui peuvent pousser sur des parties de soutènement de sites humides.

Exigences en termes de végétalisation

Conformément à la directive du canton d'Argovie pour les structures en sol renforcé, la face végétalisée des grilles de soutènement doit satisfaire certaines exigences. L'étude montre que les objets étudiés ne satisfont que partiellement ou pas du tout ces exigences.

- Regroupement d'espèces adapté au site: Les espèces observées considérées comme semées peuvent être jugées appropriées. Néanmoins, elles disparaissent de plus en plus pour céder la place aux espèces sauvages.
- Degré de couverture totale sur la façade en construction: Sur les structures analysées, la végétation ne respecte pas cette exigence. La couverture globale moyenne représente seulement 66%, avec une meilleure croissance pour les murs avec grille de soutènement ombragés qu'ensoleillés grâce aux mousses.
- Enracinement intensif sur la façade de construction avec effet de profondeur: Les espèces végétales observées suggèrent un enracinement avec effet de profondeur. Au vu des déficiences de couverture, on peut se demander si l'enracinement est assez intensif.
- Implantation et croissance durable des plantes: Seul le rajeunissement des espèces sur le site par l'ensemencement ou la formation de drageons peut garantir la croissance durable requise. Les herbacées en touradons et bon nombre de graminées ne vivent que trois à cinq ans et leur existence dépend de leur production de graines et de l'établissement des jeunes pousses qui en sont issues. Les herbes à gazon peuvent se régénérer via des stolons. Les conditions généralement défavorables à la germination et au développement des germes sur les remblais à parement vertical compliquent en particulier la croissance des herbacées en touffes et des graminées qui se rajeunissent via des semences. C'est pourquoi le développement durable des plantes est incertain.
- Pouvoir surmonter d'éventuelles périodes de sécheresse en été: Cette exigence n'est pas respectée sur les structures très exposées au soleil.

- Minimiser les travaux d'entretien coûteux: Des travaux inadaptés à la structure ou des appareils inappropriés ont endommagé au début les murs avec grille de soutènement. Le développement consécutif de faucheuses spéciales, la location d'appareils spéciaux ou le recours à des entreprises spécialisées ont généré des coûts plus élevés que prévus.

Déductions et recommandations

- Les murs végétalisés avec grille de soutènement ne sont pas efficaces dans les sites trop ensoleillés. Il faut choisir d'autres solutions pour le soutènement.
- Les murs de plus de 2,5 m dans ce milieu n'ont pas assez d'eau, ce qui limite la pousse des plantes. Les murs avec grille de soutènement hauts doivent être échelonnés via des bermes de 60 cm de large minimum. Si l'espace disponible est insuffisant, il faut choisir d'autres solutions.
- Pour les géotextiles frontaux, il faut utiliser uniquement des treillis tridimensionnels de couleurs claires. Les éléments de la grille de soutènement doivent être zingués.
- Il faut savoir que durant le temps d'attente de la construction, l'ensemble végétalisé est composé dans le meilleur des cas de plantes très rudérales type orée avec la présence régulière de grandes plantes herbacées néophytiques et de ce que l'on appelle des mauvaises herbes. Etant donné que la végétation couvre seulement deux tiers de la surface en moyenne, la grille de fer et le géotextile frontal sont toujours visibles.
- Pour les mélanges de semences, nous recommandons cinq espèces d'herbes à gazon pour les graminées permanentes et deux espèces d'herbacées en touffes. D'autres herbacées en touffes s'implanteront spontanément. La liste des espèces d'herbacées appropriées incluent celles qui s'enracinent profondément, poussent également dans un milieu plutôt sec et forment de jolis ensembles floraux. Des plantes fleurissantes sauvages viendront aussi s'y ajouter.
- Les bosquets s'associent dans l'idéal aux façades empierrées. Nous recommandons 12 espèces qui ont fait leurs preuves sur des murs avec grille de soutènement. Il faut protéger les racines des bosquets contre les souris à l'aide de treillis.
- L'entretien des murs végétalisés avec grille de soutènement consiste en une taille appropriée. Aucune fertilisation ne s'impose. La fréquence et les périodes de taille varient et doivent être adaptées à la situation, au type de végétation et aux objectifs de la structure.

Summary

Vegetated Support Grid Embankment Systems: Current Condition, Vegetation and Suggestions for Improvements Concerning the System's Choice and its Sustained Vegetation

Initial Situation and Project Goals

The development and efficiency improvements of the traffic infrastructure, both road and rail, are evolving. Apart from the standard technical rulings governing the traffic infrastructure there exists an equally important need to implement the requirements of landscape preservation and noise control structures. Vegetated noise control structures, built from local materials as either normal or acute angle embankments, achieve excellent ratings in both their environmental performance evaluation as well as with regard to their construction costs.

The construction of vegetated acute angle embankments and support grid structures is based on the principles of soil reinforcements with geo-synthetic materials. Today's most implemented structures of the norm SN 640 621 are referred to as support grid embankment systems. Their advantages are manifold: they are cost-effective, flexibly applicable, and economically assembled, and possess a low allotment and shipping volume of foreign materials that provide the opportunity for full-covering vegetation. However, unsatisfactory experiences with vegetated acute angle noise control walls and other similar objects raise doubts about the applicability of full-covering vegetation. Detailed analysis shall now document the actual condition of such objects and contribute to a better understanding of acute angle embankments in particular locations, in order to improve upon the system choice as well as to optimize the embankment's vegetation and care.

Methods

Forty screening-objects have been selected from a loose collection of already existing support grid embankment systems on the basis of their advanced age and their ease of accessibility. Each screening-object has been visited, photographed, and evaluated by means of specified questions in regard to the condition of its support grid, frontal geo-synthetic material and its vegetation. Subsequently, fourteen locations were chosen from the list of screening-objects for a more detailed analysis and evaluation of their substrate and ground vegetation. In 2011, during the months of June and October, substrate assays were extracted on six objects, while during the same time frame, the ground vegetation at all fourteen locations was recorded. The substrate was analyzed in terms of its water-holding capacity, grading, nutrient and salt concentration, as well as its pH. The ground vegetation was analyzed on random samples with respect to its species diversity and concentration, the coverage density, and its abundance of life forms. Unique animal species were noted.

Findings

The technical components of the evaluated support grid embankments, namely the grid and the frontal geo-synthetic net, are in great majority flawless. Looking at the front vegetation, however, only 2/3 objects show a favorable development; 1/3 of the vegetated areas, especially south-facing locations, are in rather poor condition. The polled servicing firms express that in terms of their objects' vegetation cover they are rather critical or in effect disappointed with at least half of them. The substrates correlate by and large the grading curve, as allowed by the guidelines of the canton Aargau for support grid embankments. The nutrient levels are rather in the low to medium range. The highest water-holding capacities were measured in the slope crest as well as in the slope toe; the lowest water-holding capacity exists in the slope middle.

Among the analyzed support grid embankments on average sixteen plant species could be identified, on a sample area of 12m². 7% of all species are mosses or lichen, 3% are ferns or horsetails, 14% are grasses, 62% are stalky and 14% ligneous plants. 82% of

all species are perennial, 18% are annual or biennial. Noticeable, but for the habitat typical, is the high number of species that root very deep. Likewise well represented are species that grow breadthways and produce new daughter plants by means of growing offshoots. Overall, 148 plant species could be identified. 26% of the plants were with high probability either sown or planted, while 74% emerged spontaneously. In light of the particular location it is not astonishing that 60 of the 82 spontaneously emerging species were brought in by wind. Practically none of the spontaneously emerging species are endangered and most of them throughout widespread. The vegetation of more than 3 year old acute angle embankments can, based on their variety of species and identified ecological groupings, be assigned to be semi-ruderal semi-arid-grassland or they identify as damp fringe communities. On the basis of the indicator values for humidity, nutrient- and alkali-provision the examined objects can be divided into four groups. The first group is characterized by nutrient-poor and arid conditions and corresponds to the indicator values of normally tilted scarious grassland. The other three groups turn out to be sufficiently supplied by nutrients and water.

The average vegetated area of all investigated objects constitutes 66% of the entire object's surface, with a very large standard deviation of 26.2%. The objects' vegetated surface area does not change significantly with increasing age, however, the ratio of area covered with sown compared to spontaneously emerging species does change. The first lose area, while the latter gain on surface cover. The dependence on the exposure is distinctly shown: In sunny locations the vegetated surface cover is the thinnest, in shady areas the thickest. This is especially due to the mosses and ferns, which can easily establish themselves on humid open slopes.

Reclamation Requirements

Pursuant to the guidelines of the canton Aargau for reinforced soil constructions the vegetated fronts of support grid embankments must fulfill certain requirements. The research shows that the examined objects comply with these requirements at best only partially or not at all.

- Species composition in accordance with the location: The observed sown assessed species are fundamentally a good fit. Though they also fail increasingly and become replaced by spontaneously emerging species.
- Full area vegetated cover on the construction's front: The examined objects do not comply with this requirement. The vegetated surface comprises on average only 66%, where shady support grid embankments, owing to the mosses, are better grown over than sunny ones.
- Intensive root penetration at the construction's front with depth effect: Based on the occurring plant species it is assumed that the root penetration is deep reaching. In view of the deficiently vegetated areas, however, it becomes questionable if the root penetration is sufficiently intensive.
- Vegetation establishment and long-term development: The required long-term development is only warranted when the species can rejuvenate by seeding or by growing offshoots. Grasses growing on horsts and many stalky plants live only three to five years and are existentially dependent on seed generation and the establishment of new seedlings. Lawn forming grasses can generatively rejuvenate through the growth of offshoots. The generally most disadvantageous conditions for germination and germ development on acute angle embankments hamper particularly the development of horst grasses and stalky plants, which rejuvenate through seeds. The vegetation's long-term development is thus uncertain.
- Survival of aestival dry seasons: Objects in sunny locations do not achieve this exigence.
- Minimization of budget-intensive maintenance work: Scores of support grid embankments have initially been damaged by inadequate work or the use of inappropriate equipment. The subsequent development of special mowers, the lease of special equipment or the hire of specialized firms generates higher than predicted maintenance costs.

Conclusion and Recommendations

- At locations with full sun exposure support grid embankments fail the test of time. For the supporting function other solutions should be chosen.
- Support grid embankments over 2.5m in height maintain too little humidity in the slope middle, which restricts the vegetation's progress. High support grid embankments should be graduated with each berm measuring at least 60cm. If the space is restricted, other solutions should be chosen.
- Only light colored three-dimensional fabrics made of randomly arranged monofilaments should be employed. The support grid beams have to be galvanized.
- It needs to be clearly communicated that during the structure's life the landscape will in its best case mainly be dominated by strongly ruderal edge vegetation and a frequent presence of neophytic tall forbs and so called weeds. Since the vegetation covers only about 2/3 of the embankment's surface the iron grid and the frontal geosynthetic layer will always be partially visible.
- The recommended sowing blend of durable grasses consists of five lawn-grass species and two horst-grass species. Other horst grasses will emerge spontaneously. Suitable herbaceous plants, which often root quite deep, are plants that can resist drought periods and which promise beautiful blossoming aspects. Further, one can count on spontaneously emerging blooming plants.
- Groves are best combined with stone filled slope faces. There are twelve species that can be recommended, which are known to thrive on support grid embankments. The groves' roots have to be protected with wire grids against gnawing mice.
- The care for vegetated support grid embankments consists of its own swath. Other fertilization becomes unnecessary. The frequency and dates of the swath differ depending on the embankment's location, vegetation type and its purpose.

1 Einführung

1.1 Ausgangssituation

Lärmschutz

Der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur – Strasse, Schiene - und die Ertüchtigung der bestehenden Infrastruktur schreiten voran. Neben den massgebenden verkehrstechnischen Zielgrössen sind gleichermassen die Anforderungen des Ortsbild- und Landschaftsschutzes und insbesondere des Lärmschutzes umzusetzen. Da die Agglomerationen und mit ihnen der motorisierte Verkehr weiterhin wachsen, die Dichte der Bevölkerung zunimmt und der Raum knapper wird, sind platz- und kostensparende, sich möglichst gut in Landschaft und Siedlung einfügende Lärmschutzbauten ein Gebot der Stunde. Begrünbare Systeme aus Materialien vor Ort, also normal geneigte Wälle sowie Steilwälle, schneiden bezüglich Ökobilanz und Erstellungskosten besonders gut ab.

So gab es in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 1995 insgesamt 720.76 km Lärmschutzwälle. Im Jahr 2010 wurden bereits 55% mehr, nämlich 1'120.90 km registriert (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2011). Von den weniger Platz erfordernden Lärmschutzsteilwällen wurden bis 1995 33.98 km erstellt. 15 Jahre später hat sich ihre Länge mehr als verdoppelt auf 71.90 km bei einer durchschnittlichen Höhe von 4.6 m und einer gesamten Ansichtsfläche von 330'038 m².

Gemäss dem schweizerischen ASTRA ist bei Lärmschutzwänden mit Pfahlfundamenten mit durchschnittlichen Investitionskosten von 1'700 Fr/m², bei Lärmschutzdämmen (gleichbedeutend mit Lärmschutzwällen) mit 1'000 Fr/m² Ansichtsfläche zu rechnen (Bundesamt für Strassen ASTRA 2007). Die Kosten von Lärmschutzsteilwällen sind nicht separat beziffert. In Deutschland kosteten die Lärmschutzsteilwälle im langjährigen Mittel durchschnittlich 327.00 Euro/m² geneigte Fläche. Lärmschutzdämme und auch Lärmschutzsteilwälle sind deutlich kostengünstiger als Lärmschutzwände.

Stützgitterböschungssysteme

Die Konstruktion von Lärmschutzsteilwällen basiert auf dem System der bewehrten Erde. Lagenweise eingelegte Geotextilnetze als Bewehrung erhöhen die Scherfestigkeit des eingebauten Erdmaterials und ermöglichen deshalb Böschungsneigungen, welche den normalen Böschungswinkel übersteigen. Meist wird die Bewehrung mit frontseitigen Stütz- und Schalungsgittern aus Stahl kombiniert, welche die Formstabilität der Front beim Einbau der Schüttung und auf die Dauer gewährleisten.

Bauwerke aus bewehrter Erde kommen im Tiefbau immer häufiger zum Einsatz. Sie treten in Erscheinung als Steilböschungen, Stützbauwerke oder Steilwälle. Ihre Vorteile sind nach Rüegger & Eberle (2006) vielfältig:

- Kostengünstig im Vergleich zu konventionellen Lösungen
- Flexibel einsetzbar
- Rationeller Aufbau
- Geringer Anteil an fremden Baustoffen
- Geringes Transportvolumen an Fremdmaterial
- Möglichkeit der vollflächigen Begrünung und Bepflanzung

Die Möglichkeit der vollflächigen Begrünung und Bepflanzung von Bauwerken aus bewehrter Erde wird in der Schweizer Norm SN 640 621 Ingenieurbotanik, gültig ab 01.02.2010, detailliert beschrieben. Die solchen Bauwerken zugrunde liegenden Systeme werden in der Norm SN 640 621 unter Pkt. 29.9 als *Stützgitterböschungssysteme* bezeichnet. Dieser Begriff wird in der vorliegenden Untersuchung verwendet.

Probleme

Da Lärmschutzbauten per se im besiedelten Bereich erstellt werden, müssen sie auch einer bezüglich Umwelt sensibilisierten Öffentlichkeit genügen. Diese verlangt auch bei Strasseninfrastrukturbauten generell "weniger Beton, mehr Grün", aber auch ganz speziell grössere Arten- und Biotopvielfalt, jahreszeitliche Blühaspekte, bei den Pflanzen regionale Ökotypen und keine "Exoten".

Um dem allgemeinen Anspruch nach mehr Natur und mehr Grün zu genügen, standen für Lärmschutzbauten bisher folgende Lösungen im Vordergrund:

- Senkrechte Wände aus verschiedenen Materialien, naturnah verkleidet mit Holz
- Senkrechte Mauern, abgeschirmt durch Vorpflanzungen aus Gebüsch und Bäumen oder überwachsen mit selbstklimmenden oder an Gerüsten rankenden Kletterpflanzen (Efeu, Wilder Wein, usw.)
- Erdwälle mit normal geneigten Böschungen, bewachsen mit grasig-krautiger Vegetation und/oder Gehölzen
- gestapelte, mit Erde gefüllte Kastensysteme (meist Betonfertigelemente), mit und ohne Erdkern, bewachsen mit Stauden und/oder Büschen.

Mit den Stützgitterböschungssystemen sind nun Produkte verfügbar, die platzsparend und günstig sowie vollflächig begrünbar und bepflanzbar sind. Gerade die Möglichkeit zur Begrünung wird von den verschiedenen Anbietern hervorgehoben. Erfahrungen im Zuge der Projektierung eines Lärmschutzsteilwalls an der A3 sowie Eindrücke von verschiedenen anderen Objekten lassen an der Begrünbarkeit jedoch Zweifel aufkommen. Oft sind folgende Probleme festzustellen:

- Vegetationsdecke nicht geschlossen, grosse Ausfälle in Trockenzeiten
- Vegetation eher artenarm, viele unerwünschte Kräuter und Neophyten
- Konstruktion stellenweise schadhaft (abstehende Eisenstäbe, durchlöchernde Geotextile, herausrieselndes Füllmaterial)
- Bauwerke ästhetisch unbefriedigend (rostende Gitter, verwitternde Geokunststoffe sichtbar)
- Oberfläche insgesamt nicht grün, sondern eher braun.

Stand der Forschung

Die Technik der bewehrten Erde ist in zahlreichen Fachpublikationen beschrieben. Zum System der Stützkonstruktion aus bewehrter Erde veröffentlichte der Kanton Aargau eine ausführliche Richtlinie (Rüegger & Eberle 2006). Die besondere Möglichkeit des Systems, nämlich die vollflächige Begrünung und Bepflanzung der Front, wird in vielen Veröffentlichungen eher gestreift (etwa Meier 2003), in einzelnen aber explizit besprochen (Esser 1994, Rüegger & Eberle 2006). Noch wenig publiziert sind hingegen langjährige Erfahrungen mit der Begrünung und Bepflanzung (Herold, Hoy & Artmann 2000, Müller 2001, Eppel-Hotz 2005, Lachat 2005). Ein Forschungsprojekt "Begrünte Lärmschutzsteilwälle" startete 2005 an der Universität für Bodenkultur in Wien (Aschauer 2005); Ergebnisse sind noch nicht veröffentlicht.

1.2 Ziele

In Kenntnis der Vorteile der Stützgitterböschungen bezüglich Platzbedarf und Kosten und angesichts der oftmals enttäuschenden Ergebnisse der Begrünung sollen im vorliegenden Forschungsprojekt folgende Ziele angestrebt werden:

- Besseres Verständnis des besonderen Standorts: Die besonderen Standortbedingungen für die Vegetation der Front sind längst nicht ausreichend erforscht. Neben Fragen zur standortgemässen Vegetation klaffen grosse Wissenslücken bezüglich ihrer Erneuerung und Verjüngung. Auch über die Fauna an Steilböschungen - Kleinsäuger, Reptilien, Bänder-Schnecken, Ameisen - ist kaum etwas bekannt.
- Hilfe bei der Systemwahl: Begrünte Stützgitterböschungen zeichnen sich durch gewichtige Vorteile aus, sind offensichtlich aber nicht überall geeignet. Um unbefriedigende Ergebnisse zu vermeiden, sind bessere Entscheidungsgrundlagen zur Systemwahl nötig: Wann Stützgitterböschung mit Ansaat und/oder Gehölzpflanzung, wann Stützwand mit Cachierung (Kletterpflanzen oder Vorpflanzung); wann Begrünung der Stützgitterböschung mit Gras und Kräutern, wann Begrünung nur mit Gehölzen; wann vollflächige, wann nur bereichsweise Begrünung.
- Optimieren der Begrünung: Verbessern der Samenmischungen für die grasig-krautige Vegetation dieser Extremstandorte; verbessern der Artenliste geeigneter Gehölze.
- Optimieren der Pflege: Optimieren Schnitthäufigkeit und -zeitpunkte.

2 Methoden

Bearbeitung: Beat Stöckli

2.1 Auswahl der Objekte

2.1.1 Sammeln der Objekte

In einem ersten Schritt werden alle dem Bearbeitungsteam bekannten Objekte aufgelistet. Weitere Objekte konnten beigebracht werden durch Anfrage bei Systemanbietern. Diese erste Zusammenstellung enthält 48 Objekte. Unter diesen Objekten wird eine erste Auswahl getroffen. Auswahlkriterien sind:

- Alter der Objekte (ältere Objekte bevorzugen)
- Erreichbarkeit der Objekte (Objekte in der Schweiz bevorzugen)

Die resultierende erste Auswahl umfasst 40 Objekte. Sie werden als Screeningobjekte bezeichnet.

2.1.2 Screening der Objekte

Das Screening dient der vertieften Kenntnis der einzelnen Objekte, der Systematisierung und der Möglichkeit von Auswertungen. Alle ausgewählten Objekte werden vor Ort aufgesucht, anhand vorgegebener Fragestellungen erfasst und begutachtet (siehe Abb. 2.1). Ergänzend werden Fotos erstellt. Im Anschluss an die Begehung werden bei Eigentümern, Systemlieferanten oder Pflegediensten Nachbefragungen zur Erstellung durchgeführt (siehe Abb. 2.2).

<i>Abb. 2.1 Fragestellungen beim Screening</i>	
Lage und Standort Bauwerk	Gemeinde, Lokalität, Eigentümer Koordinaten, Höhe über Meer Objekttyp (Mauer- oder Hangvorschüttung / freistehender Wall) Funktion (Hangsicherung / Flächengewinn / Lärmschutz / Lawinenschutz) Nähere und weitere Umgebung
Dimensionen Bauwerk	Höhe und Länge der Steilböschung Exposition, Neigung Untergliederung (Bermen, Steinkörbe, usw.)
Zustand Bauwerk	Oberfläche Front Begrünung (Gras- und Krautschicht, Sträucher) Pflegezustand Schäden, sichtbare Nachbesserungen
Stützgitter	Dimension (Stabstärke, Netzweite) Oberfläche Zustand (Rost, Stabverbindungen, usw.) Stösse zwischen den Gittern)
Geotextil Frontseite	Sichtbarkeit (vegetationsbedeckt oder offen liegend) Art (Gewebe, Vlies, Wirrgelege, Krallmatte, usw.) Zustand (Löcher, Risse, Wülste, Hohlräume, usw.) Anmerkungen
Begrünung	Deckung Gras- und Krautschicht Zusammensetzung und Vitalität Zustand Sträucher Anmerkungen

Abb. 2.2 Fragestellungen bei der Nachbefragung

Planung, Erstellung, Pflege	Jahr Erstellung System resp. Produkt Zielsetzung bezüglich landschaftlicher Eingliederung (vegetationsbedeckt, "grün", Lebensraum, keine besondere Zielsetzung) verwendete Samenmischung resp. Pflanzliste Füllmaterial Erdkörper und Front Unternehmer, Baukosten Pflegeunternehmen alte Pläne, Fotos greifbar?
------------------------------------	---

2.1.3 Untersuchung der Objekte

Gemäss dem Forschungskonzept werden nach dem Screening nur ausgewählte Objekte einer eigentlichen Untersuchung unterzogen. Diese zweite Auswahl erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Objekte unterhalb 1000 Meter ü. M.
- Mit Untersuchungsmaterial (Leitern, Zählrahmen, usw.) gut zugängliche Objekte
- Möglichst verschiedene Expositionen
- Sowohl Hangvorschüttungen als auch freistehende Wälle
- Im Rahmen der vorhandenen Mittel zu bewältigende Anzahl

Die resultierende Liste umfasst noch 14 sogenannte Untersuchungsobjekte. An ihnen werden detaillierte bodenkundliche sowie vegetationskundliche Untersuchungen vorgenommen.

2.1.4 Dokumentation der Objekte

Die im Feld anlässlich des Screenings erhobenen Daten sowie die Ergebnisse der Befragungen sind in einer Datenbank (Microsoft Office Access 2003) abgelegt. Die aus der Datenbank generierten Datenblätter sowie die Fotodokumentation der einzelnen Objekte finden sich auf der beigelegten CD, Dateien 1 und 2.

2.2 Bodenuntersuchungen

Bearbeitung: Jens Bohne, David Schwarz

2.2.1 Niederschlag

Bezüglich des Klimas an den jeweiligen Untersuchungsstandorten werden die Niederschlagsdaten von Meteo Schweiz beigezogen. Ausgewertet werden die Tages- und Monatssummen der sich am nächsten befindlichen Messstation. Für die Beprobungszeiträume selbst werden stellvertretend für alle Objekte die Daten der Messstation Steckborn (TG) dargestellt.

2.2.2 Wassergehalt

Gemäss Forschungsauftrag soll der Wassergehalt durch die Entnahme von Bodensubstrat mittels Stechzylinder und durch anschliessende Bestimmung der Volumenprozent ausgedrückt werden. Bei der Beprobung im Feld wurde allerdings festgestellt, dass die in den Stützgitterböschungen verwendeten Substrate einen hohen Skelettan-³ teil aufwiesen. Eine vollständige Auffüllung auf das Stechzylindervolumen von 100 cm³ und somit eine Entnahme einer ungestörten Bodenprobe mit Bodensubstrat war aufgrund des hohen Steingehaltes in den Zylindern nicht möglich. Die Berechnung der Volumenprozent über die Frisch- respektive Trockengewichte der Proben wäre deshalb mit einer grossen Unsicherheit behaftet und wird aus diesem Grund nicht weiter verfolgt.

Stattdessen werden für die weiteren Betrachtungen des Wassergehaltes die Massenprozentante verwendet. Da die Zusammensetzung des Substrats bei gleichen Objekten nur eine mehr oder weniger geringe Spannweite aufweist, ist davon auszugehen, dass die Werte bei den Einzelobjekten untereinander gut vergleichbar sind.

Die Beprobung des Wassergehaltes erfolgt zweimal im Jahr 2011 in den Monaten Juni und Oktober.

Bei allen Objekten wird vom Böschungsfuss ausgehend Bodensubstrat in verschiedenen Höhen mittels Stechzylindern entnommen. Bei den Probenahmen werden folgende Höhenstufen erfasst:

- 1 m oberhalb Böschungsfuss
- 2 m oberhalb Böschungsfuss
- 3.5 m oberhalb Böschungsfuss
- Böschungskrone

Eine Ausnahme bildet dabei das Objekt AG-11 in Oeschgen (Autobahn A3), bei welchem aufgrund der Böschungshöhe von 5 m die Beprobung in 1 m, 2.5 m, 3.5 m, 4.5 m und auf der Böschungskrone durchgeführt wird. Das Objekt ZH-01 in Küsnacht (Forchstrasse A52) besitzt sowohl auf der Strassenseite wie auch auf der Rückseite Stützgitterböschungen. Es werden beide Seiten separat beprobt.

Die Untersuchungen bezüglich des Wassergehalts werden durch das "EUB-Prüflabor" nach der Norm SN 670 340 b durchgeführt.

2.2.3 Korngrößenverteilung

Die Stechzylinderproben werden im "EUB-Prüflabor" zusätzlich auf ihre Korngrößenverteilung untersucht. Die Zusammensetzung des Substrats wird anhand der prozentualen Verteilung der Parameter Ton, Silt und Sand definiert. Die Korngrößenparameter mit einem Grösstkorn von 2 mm werden ebenfalls in Prozent ermittelt. Folgende Methoden kommen bei der Analyse zur Anwendung:

- Siebanalyse trocken, vorgängige Waschung (SN EN 933-1 bzw. 670 902-1)
- Schlämmanalyse Aräometermethode (SN 670816 a)
- Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 2: Grundlagen von Bodenklassifizierung (SN 670 004-2a)

Die Beprobungshöhen sind identisch mit denen der Wassergehaltsbestimmungen. Die Probenahme erfolgen gleichzeitig mit den Wassergehaltsbeprobungen im Mai / Juni 2011.

2.2.4 Nährstoffgehalte

Für die Nährstoffanalysen werden Mischproben in Form von neigungsp parallelen Linienproben an mehreren Stellen des Wallprofils entnommen, in Abb. 2.3 ist das generelle Beprobungsmuster dargestellt.

Zur Probeentnahme wird das Geotextil mit einem Messer aufgeschnitten und das Substrat mit einem Spachtel oder einer kleinen Handschaufel entnommen, in Plastiksäcke verpackt und an das "Hauert HBG Dünger Labor" versandt. Die Abstände zum Böschungsfuss sind identisch mit den Höhenangaben bei den Stechzylinderproben. Vom Labor werden folgende, leichtverfügbare Pflanzennährstoffe mittels einer 1:2 Volumen-Wasserextraktion untersucht:

- Nitrat [$\mu\text{mol/l}$]
- Phosphor [$\mu\text{mol/l}$]
- Kalium [$\mu\text{mol/l}$]
- Magnesium [$\mu\text{mol/l}$]
- Calcium [$\mu\text{mol/l}$]

Zudem werden der Salzgehalt [$\mu\text{S/cm}$] für die Abklärung der Streusalzbeeinflussung und der pH-Wert der Proben gemessen. Die Probenahme zur Nährstoffanalyse erfolgten im Mai / Juni 2011.

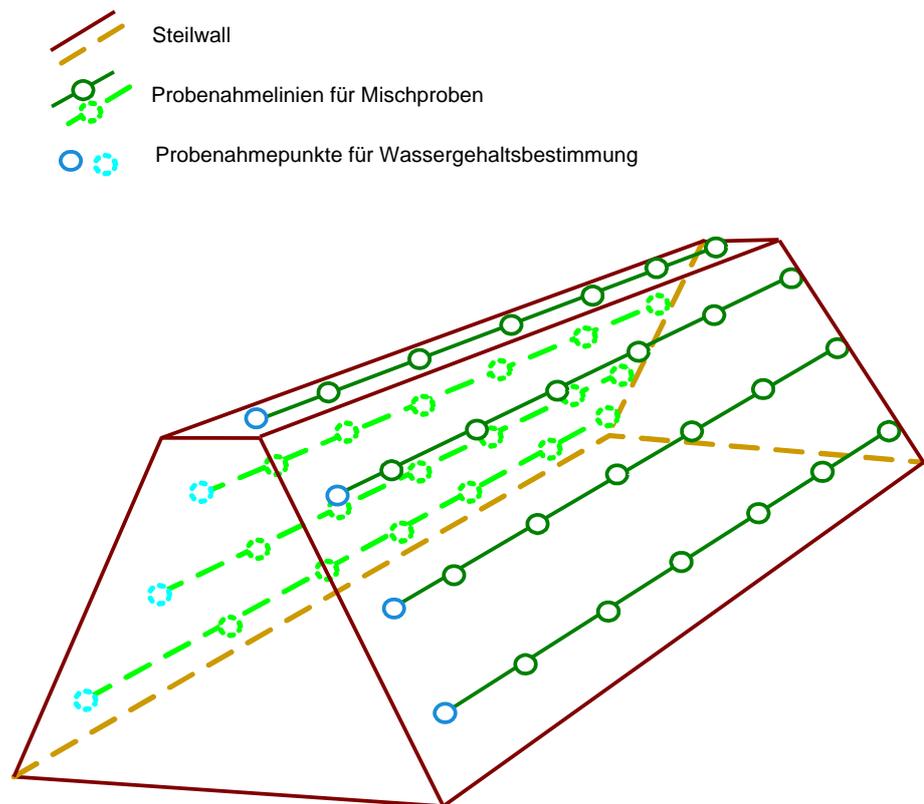


Abb. 2.3 Beprobungsschema für Nährstoff- und Wassergehaltsbestimmungen

2.3 Vegetationsuntersuchungen

Bearbeitung: Beat Stöckli

2.3.1 Feldaufnahme Vegetation Frontseite

Jahreszeit und Wiederholung der Aufnahmen

Alle Vegetationsaufnahmen der Aufnahmegruppe 1 wurden im Frühling und Frühsommer 2011 erhoben. Die Aufnahmegruppe 2 erfolgte im Sommer und Herbst 2011.

Anzahl und Lage der Probeflächen

Die Vegetationsaufnahmen erfolgen in 3 - 10 Probeflächen je Objekt. Die Anzahl der Flächen richtet sich nach der Grösse des Objekts. Die Lage der Probeflächen wird von einem Bezugspunkt ausgehend zufällig festgelegt. Dabei unterscheidet sich die Höhenlage der Fusspunkte je nach Aufnahmegruppe. Die Distanz des Fusspunktes vom Bezugspunkt wird mit Messband oder Messrad gemessen, die Höhe ab Basis (bei Aufnahmegruppe 1) mit Doppelmeter oder Messband.

<i>Abb. 2.4 Lage der Probeflächen am Objekt</i>	
Bezugspunkt Objekt	Untere (auf der Basis befindliche) linke Ecke des Objekts (Blickrichtung gegen Objekt)
Fusspunkt Probefläche	Untere linke Ecke der Probefläche
Länge Fusspunkt ab Bezugspunkt (in m)	In EXCEL generierte Zufallszahl (zwischen 0 und 1) x 100
Höhe Fusspunkt ab Basis (in m) bei Aufnahmegruppe 1	In EXCEL generierte Zufallszahl (zwischen 0 und 1) x Höhe Objekt (in m)
Höhe Fusspunkt ab Basis bei Aufnahmegruppe 2	Fusspunkt immer auf Basis

<i>Abb. 2.5 Grösse der Probeflächen in Aufnahmegruppe 1 und Aufnahmegruppe 2</i>		
Dimensionen	Aufnahmegruppe 1	Aufnahmegruppe 2
Länge (Grundlinie) Probefläche	1 m	4 m
Höhe Probefläche	1 m	2.5 m (jeweils geschätzt)
Fläche Probefläche	1 m ²	10 m ²
Begrenzung Probefläche	Fester Alu-Zählrahmen von 1m ²	Beginn und Ende Grundlinie mit Spray markiert, Höhe (2.5m) geschätzt

Bestimmung der Arten

Zur Bestimmung der Farne und Sprosspflanzen werden verwendet Oberdorfer 1990, Lauber & Wagner 1996, Klapp & Opitz von Boberfeld 1990 sowie Eggenberg & Möhl 2007; für die Moose Aichele & Schwegler 1984 sowie Nebel & Philippi 2000.

2.3.2 Deckung der Vegetation

Von sehr grosser Bedeutung für die begrünten Stützgitterböschungen ist ihre Bedeckung durch die Vegetation. Die Vegetationsdecke prägt den visuellen Aspekt und erfüllt im System wichtige funktionale Aufgaben (siehe Kap. 6.3). Im vorliegenden Projekt wird der Grad der Bedeckung durch drei Bedeutungsmasse erfasst: Artmächtigkeit, Abundanz und Gesamtdeckung.

Artmächtigkeit

Die Artmächtigkeit bezeichnet den geschätzten prozentualen Anteil der Blattfläche einer Art bezogen zur gewählten Aufnahmefläche (Trempe 2005). Die Schätzung hat dabei senkrecht zur Substratoberfläche zu erfolgen. Der Anteil der Blattfläche wird für jede

angetroffene Art pro Aufnahme geschätzt. Im Feld wird eine Schätzskala verwendet und diese bei der Datenauswertung in mittlere Deckungsprozente transformiert (Trempe 2005)

<i>Abb. 2.6 Schätzskala für die Artmächtigkeit</i>							
Schätzskala nach Braun-Blanquet	r	+	1	2	3	4	5
transformierte Rangskala	1	2	3	4	5	6	7
transformierte mittlere Deckungsprozente	0.1	0.2	2.5	15.0	37.5	62.5	87.5

Da die Blätter der einzelnen Arten sich auf unterschiedlichen Höhen ausbreiten, sind Überlappungen sehr häufig. Prominente Arten werden oft überschätzt; niederliegende Arten verschwinden unter den prominenten und werden in ihrer Mächtigkeit unterschätzt. Werden die transformierten Deckungsprozente summiert, sind wegen der Überlappungen Werte >100 möglich.

Abundanz

Das Mass umschreibt die Anzahl der Individuen bzw. Zahl der Sprosse der einzelnen Arten in der gewählten Aufnahme­fläche (Trempe 2005). Für die Aufnahme­gruppe 1 wird die Abundanz innerhalb einer Fläche von 1m² mittels eines Zählrahmens bestimmt. Verwendet wird ein Zählrahmen aus leichten Alu-Profilen (siehe Abb. 2.7). Auf den Rahmen kann ein Zählbalken aufgesetzt werden, der mit 10 in gleichem Abstand festgeschraubten Nadeln bestückt ist. Der Messbalken kann auf dem Rahmen vertikal verschoben und in zehn von einander gleich weit entfernten Positionen eingerastet werden.

Festgestellt wird, was an der Einstichstelle der Nadelspitze oder in ihrer senkrechten Projektion wächst. Als Einstichstelle gilt ein Kreis von ca. 2 cm Durchmesser. Dabei werden nicht einzelne Arten notiert, sondern nur die Lebensformen, nämlich Moos M, Farn F, Gras G, Kraut K oder Holzgewächs H. Wenn an der Einstichstelle nichts wächst, wird die Signatur x notiert. Zur Aufzeichnung werden Feldblätter mit vordefinierten Rasterfeldern verwendet, die mit der entsprechenden Signatur (M/F/G/K/H/x) versehen werden müssen. Als Ergebnis resultieren 10 Reihen mit je 10 Einstichstellen, also 100 Stichproben pro Rahmen (= Probefläche).

Die notierten Signaturen werden als Schätzmass für die Abundanz verwendet. Die Anzahl Notierungen K ergibt z.B. die Abundanz für Krautartige auf der Probefläche, die Anzahl Notierungen G die Abundanz für Grasartige.



Abb. 2.7 Zählrahmen

Der Rahmen ist mit Heringen fixiert, die Probefläche mit einer Etikette beschriftet (BL-02/27.04.2011/BST)



Abb. 2.8 Zählrahmen mit Zählbalken

Auf dem Rahmen kann der Zählbalken mit Schiebern bewegt werden (ZH-01/06.05.2011/BST)



Abb. 2.9 Zählbalken mit Nadel

Der Balken trägt 10 Nadeln, die knapp über der Böschungsoberfläche enden (AG-01/20.04.2011/BST)



Abb. 2.10 Zählbalken in Vegetationslücken

Notiert wird, was am Einstich der Nadel wächst. Wächst nichts, wird ein X notiert (30.05.2011/BST)

Die Messung mit dem Zählrahmen ist eine sogenannte Punkt-Methode zur Bestimmung der Häufigkeit und Verteilung der Pflanzenindividuen innerhalb einer Probefläche. Bei Punkt-Methoden sind die beprobten Teilflächen soweit verkleinert, dass nur noch einzelne Punkte aufgenommen werden (Heinken 2001). Dabei wird nicht eine Deckung, sondern nur Anwesenheit/Abwesenheit notiert. Bei engen Zwischenräumen der Nadeln ergibt die Punktmethode oder Punktfrequenz ein sehr feines Abbild der Horizontalstruktur, insbesondere der Dichte und Verteilung von Pflanzen oder Pflanzenteilen (Dierschke 1994).

Die mit dem Zählrahmen erhobenen Abundanzwerte der einzelnen Lebensformen sind ganzzahlig und können zu einer Gesamtabundanz summiert werden. Sie ist ein Mass für die gesamte Vegetationsbedeckung. Da die Zählung knapp über dem Boden erfolgt, sind – im Gegensatz zur Schätzung der Artmächtigkeit – keine Überlappungen im Bereich der unterschiedlich hohen Blattschichten zu berücksichtigen. Bei beispielsweise 37 x-Signaturen und 63 anderen Signaturen gelten somit 37% der Probefläche als unbewachsen und 63% als mit Vegetation bedeckt. 100 Signaturen G würde bedeuten, dass die Probefläche vollständig mit Vegetation - und zwar mit Graspflanzen - bedeckt ist.

Gesamtdeckung:

Die Gesamtdeckung wird bei sämtlichen Aufnahmen erhoben. Sie wird geschätzt und bezeichnet den Anteil (in %) der senkrecht projizierten Blattfläche aller Arten bezogen zur gewählten Aufnahmefläche. Es wird eine Skala verwendet, welche die Deckung in 5%-Schritten zwischen 0 und 100% schätzt. Bei der Schätzung wird das von Tresp 2005 empfohlene Vorgehen - gedankliche Zerlegung der Aufnahmefläche in Viertel - angewendet.

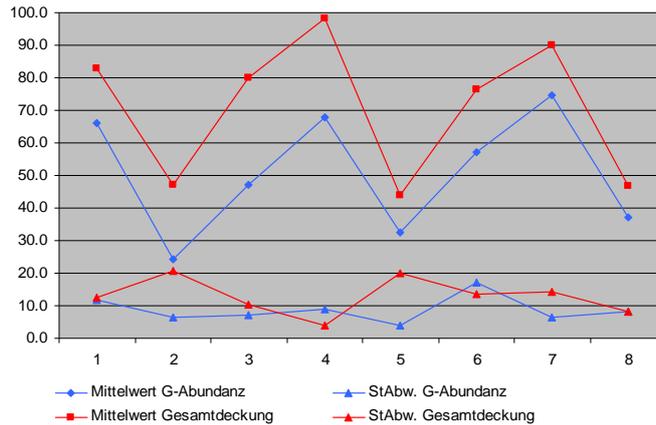


Abb. 2.11 Verhältnis der Gesamtabundanz zur Gesamtdeckung in acht Objekten

Der Vergleich der Gesamtabundanz mit der Gesamtdeckung (siehe Abb. 2.11) zeigt, dass die Gesamtabundanz immer kleiner ist als die Gesamtdeckung. Wird zum Beispiel im Zählrahmen ein Stock eines Wurmfarms erfasst, geht seine Deckung als 0.01 % (1 von 100 Zählquadraten) in die Abundanzberechnung ein. Da der Wurmform sehr grosse, ausladende Wedel bildet, kann er bei der Schätzung der Gesamtdeckung, die ja eine Projektion der Blattfläche auf den Boden ist, durchaus mit Rang 2 oder gar 3 belegt werden, was 0.2% resp. 2.5% Gesamtdeckung entspricht.

2.3.3 Analyse der Aufnahmen

Die im Feld erhobenen Vegetationsaufnahmen werden mit der Software VEGEDAZ (Küchler 2009) ausgewertet. Sie erlaubt systematische Analysen der Arten, Deckungsgrade und Zeigerwerte. Die mittels VEGEDAZ generierte Gesamtartenliste findet sich auf der beigelegten CD, Datei 3.

Abb. 2.12 Zeigerwerte F; R; N und H nach Landolt 1977

Zeigerwert	Skala	Beschreibung
Feuchtezahl F	1 - 5	Kennzeichnet mittlere Feuchtigkeit des Bodens während Vegetationszeit. Niedere Zahlen zeigen geringe, hohe Zahlen grosse Bodenfeuchtigkeit an
Reaktionszahl R	1 - 5	Kennzeichnet den Gehalt an freien H-Ionen im Boden. Niedere Zahlen zeigen saure, basenarme Böden an, hohe Zahlen entsprechen einem hohen Basengehalt (neutrale bis basische Böden)
Nährstoffzahl N	1 - 5	Kennzeichnet Nährstoffgehalt (insbesondere Stickstoff) des Bodens. Niedere Zahlen zeigen wenig, hohe Zahlen viel Nährstoff an
Humuszahl H	1 - 5	Kennzeichnet den Humusgehalt des Bodens am Standort. Niedere Zahlen deuten auf einen geringen, hohe Zahlen auf einen hohen Humusgehalt im Wurzelraum der Pflanze hin

Die für die Vegetation relevanten Standorteigenschaften der Objekte bezüglich ihres Substrats können mittels der Zeigerwerte (Landolt 1977) abgebildet werden. Die Analyse der in allen Aufnahmen vorkommenden Pflanzen erfolgt nach den Zeigerwerten F; R; N und H gemäss Abbildung 2.12.

2.3.4 Momentaufnahme Fauna

Die an und in Stützgitterböschungen lebende Fauna wird nicht systematisch erfasst. Festgehalten sind lediglich Zufallsbeobachtungen während der Screenings oder Untersuchungen. Einzig auf Mäuse wird geachtet, da sie Schäden an Konstruktion (Geokunststoff an der Front) und Vegetation verursachen können.

2.4 Befragung

Wesentlich für die Beurteilung der Tauglichkeit begrünter Stützgitterböschungen sind die Erfahrungen im Zuge der Pflege. Die Objekte müssen gemäht und das Mähgut muss entfernt werden. Meist stehen die Arbeiten unter Zeitdruck, da Fahrbahnen zu sperren sind. Die Objekte sind zudem oft sehr hoch, was den Einsatz von Spezialgeräten erfordert, die im Maschinenpark der zuständigen Werkhöfe meist nicht vorhanden sind. Da jedes Jahr gemäht wird, erhalten die Pflegeequipen regelmässige Eindrücke vom Zustand der Objekte und können Entwicklungstrends feststellen.

Zur Befragung wurden mit den für die Pflege Zuständigen telefonische Interviews zu folgenden Punkten geführt.

<i>Abb. 2.13 Fragestellungen bei der Befragung der Pflegedienste</i>	
Pflege der Objekte	Vorgehen Geräte (handgeführt, Aufbauten auf Fahrzeug) Häufigkeit und Zeitpunkte Schnitt Entsorgung, weitere Arbeiten Einschätzung Zustand Vegetation Allfällige Probleme mit Pflanzen, Tieren (z.B. Mäuse) Allfällige Probleme Konstruktion Gesamtbeurteilung

Die Ergebnisse der Befragung finden sich auf der beiliegenden CD, Datei 7.

2.5 Dokumentation

Sämtliche erhobenen Daten sind auf der beigelegten CD abgelegt. Die CD enthält folgende Dateien:

- Begrünte_Stützgitterböschungen_1_Objektdaten_Screening.pdf
- Begrünte_Stützgitterböschungen_2_Fotos_Screening.pdf
- Begrünte_Stützgitterböschungen_3_Vegetationsaufnahmen.pdf
- Begrünte_Stützgitterböschungen_4_Korngrößen_Wassergehalt.pdf
- Begrünte_Stützgitterböschungen_5_Naehrstoffe.pdf
- Begrünte_Stützgitterböschungen_6_Meteodaten.pdf
- Begrünte_Stützgitterböschungen_7_Unterhalt.pdf

3 Übersicht über Einsatz und Zustand von Stützgitterböschungen in der Schweiz

Bearbeitung: Beat Scheuter

3.1 Systeme und Erhaltungszustand

3.1.1 Systeme

Ursprüngliches Verfahren

Die Technik der bewehrten Erde stammt aus Frankreich. Als erster Schritt werden Bahnen aus Geotextilien ausgelegt. Auf der hinteren Hälfte der Bahnen wird Material aufgefüllt und in ein paar Schichten verdichtet. Die Stirnseite dieser Auffüllung wird nachbearbeitet und möglichst steil ausgeformt. Anschliessend wird die vordere, freie Hälfte der Geotextilbahn straff aufwärts über die steile Stirnseite gespannt, nach hinten auf die horizontale Auffüllung gelegt und dort fixiert. In der gleichen Weise wird die nächste Geotextillage verlegt und dann Material eingebaut. Es entsteht ein Aufbau, der einem Stapel flach gepresster Kissen gleicht. Dank seiner mechanischen Eigenschaften verhindert das Geotextil ein Abscheren der einzelnen Stapel und ein Absacken über die Front. Die Auflast der Füllung sorgt zudem dafür, dass das Geotextil selbst nicht herausgleiten kann und der Zugspannung der steilen Frontfüllung standhält. Die Bautechnik wurde in der Regel temporär eingesetzt; die Füllkörper wurden wieder abgebrochen oder dann vollständig überdeckt.

Diese Methode wurde von der Ingenieurbiologie aufgegriffen und mit dem Einsatz von Pflanzen sowie natürlichen, verrottbaren Geotextilien - teils mit verzinktem Drahtgittergeflecht verstärkt - erweitert. Bei dieser Weiterentwicklung ist das Ziel jedoch bereits eine dauerhafte Lösung. Da im Gleichschritt mit der Verrottung des natürlichen Geotextils die Pflanzendecke immer tiefer wurzelt und stabiler wird und somit die Standfestigkeit der Böschung gewährleistet, konnte die Neigung der Vorderseite (Anzug) bis gegen 60° gesteigert werden.

Die Technik hatte allerdings einen Nachteil. Die Front der "gestapelten Kissen" konnte nicht in einer gleichmässigen Neigung ausgebildet werden, was immer wieder zu Erosionsschäden führte. Diesen Mangel soll das sogenannte Stützgittersystem beheben. Das System wurde von den Schweizer Unternehmungen Bosshard & Staerke, Zug sowie Rüeegger+Flum Ingenieure AG, vormals Rüeegger AG St.Gallen, entwickelt und von beiden patentiert.

Heutiges Verfahren

Bei der Stützgitterböschung wird ein vorne geknicktes Baustahlnetz, das Stützgitter, roh als verlorene Schalung eingesetzt. Diese in einem entsprechenden Winkel geknickten Gitter werden in horizontaler Lage mit einem nach hinten verlegten Spezialgeotextil verbunden, welches die Scher- und Zugkräfte aufnimmt. Die Frontseite der Stützgitter wird mit sogenannten Vegetations-Geotextilien ausgekleidet, welche ein Herausrieseln des Feinmaterials verunmöglichen. An der Innenseite des Frontgitters werden Abspannhaken angebracht, um bauchige Verformungen, die durch den Auffüllungsdruck entstehen können, zu verhindern. Dann wird das angewinkelte Gitter von hinten her mit Material verfüllt.

Um die Langlebigkeit der Gitter zu gewährleisten, werden sie zunehmend auch verzinkt geliefert. In der EU dürfen Stützgittersysteme nur noch mit verzinktem Material ausgeführt werden. Damit wird die verlorene Schalung zur definitiven Schalung und Sicherung der Böschung. Die mögliche Neigung der Böschungfläche wird bei allen begrünbaren Systemen mit 60°-70° angegeben. Für weitere Infos siehe VSS-Norm 640 680.

3.1.2 Produkte

Aktuell (2011) sind in der Schweiz folgende Systeme und Produkte am Markt:

ARMUR	MC2, Delémont
BOSTAMUR	Bosshard & Staerke, Zug
R+F ECOWALL	Rüegger Ingenieure AG, St.Gallen
STEBO	Bosshard & Staerke, Zug
TERRAMUR	Sytec AG, Niederwangen
TERRABLOC (nicht mehr im Markt)	Sytec AG, Niederwangen
TEXTOMUR	Fritz Landolt AG, Näfels

Die ausgewerteten Produktinformationen sind unterschiedlich detailliert. Bei allen Produktinformationen ist der Hauptteil der Montage gewidmet. Alle Anbieter versprechen, dass die Steilböschung grün wird. Bezüglich der Begrünung der Stützgitterflächen (Methoden, Samenmischungen, Vorgehen) wird lediglich auf spezialisierte Begrünungsunternehmen verwiesen.

Bezüglich Anweisungen zur Pflege der begrünten Stützkonstruktionen sind BOSTAMUR und STEBO knapp. Ausführlicher und anschaulicher informiert diesbezüglich TERRAMUR. Bei den anderen Produkten fehlen Hinweise zur Pflege.

Genauere Informationen und definierte Qualitätsansprüche an das Hinterfüllmaterial der Front fehlen bei allen Produkten. Bei TERRAMUR, Textomur und STEBO/BOSTAMUR wird lediglich darauf hingewiesen, dass nur Rohboden und in der Front fein strukturiertes "Erdmaterial" als Füllungsmaterial verwendet werden soll.

3.2 Lage, Alter und Zustand der untersuchten Objekte

Im vorliegenden Projekt wurden 39 Stützgitter-Objekte einer genaueren Prüfung unterzogen. Bezüglich Auswahl der Objekte siehe Kap 2.1.1. Die Datenblätter der besuchten und begutachteten Objekte finden sich auf der beigelegten CD, Datei 1.

3.2.1 Stützgitter

Systeme

Die Stützgitter unterscheiden sich bei den verschiedenen Produkten nur gering. Das R+F Ecowall weicht insofern ab, als das Gitterelement des Bodens nicht in einem festen Winkel, sondern wie bei Drahtschotterkörben flexibel mit dem Frontgitter verbunden ist. Die Neigung der Frontseite kann somit, auch innerhalb der Abwicklung des Objektes, je nach Bedarf verstellt werden.

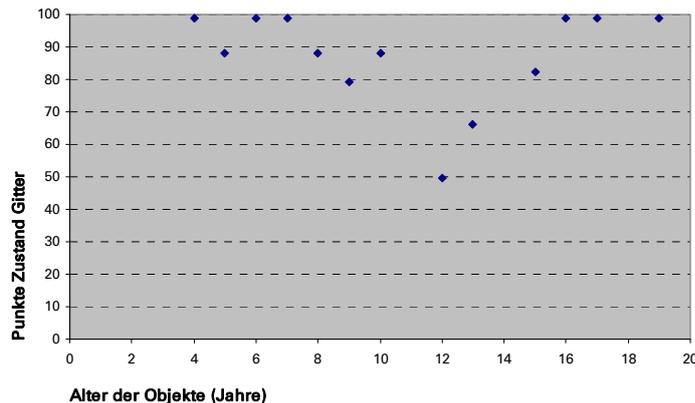
Die Stärke des verwendeten Rundstahls liegt meistens bei 6 - 10mm. Recht gross ist die Variation bei der Maschenweite der Gitternetze. Meist ist sie bedingt durch das verwendete Vegetationsgeotextil. Je feiner das Geotextil ist, desto kleiner sind die Raster der Gitter.

Das TERRABLOC System der Firma Sytec ist leider nicht mehr auf dem Markt, aber schon deshalb interessant, weil bei diesem System die verlorene Schalung nur bei der Herstellung verwendet wurde (siehe Objekt BE-01). Das Vegetationsgeotextil wird in eine V-förmige Schalung eingelegt, dann auf der Vorderseite mit Rasensoden belegt, mit Aushubmaterial fertig verfüllt und mit dem Geotextil zu einem dreieckigen Paket geschlossen. Das Geotextil umhüllt nicht nur das Paket, sondern verläuft auch in einer je nach Objekt definierten Länge nach hinten, um die Zugkräfte aufzunehmen. Das fertig V-förmige Stützelement wird dann mit einem Spezialbügel auf der Baustelle direkt versetzt. Dank der Rasensoden ist das Objekt somit grün vom ersten Tag an.

Zustand der Gitter

Bei der Beurteilung des Zustandes der Stützgitter ist vorerst zu beachten, ob sie verzinkt sind oder roh. Bei nicht verzinkten, mehr als fünf Jahre alten Stützgittern ist feststellbar, dass die Schweisspunkte verschiedentlich nur noch schwach halten und bei mechanischer Beanspruchung durch Mähgeräte stärkere Schäden aufweisen als verzinkte Stützgitter.

Wie der Überblick auf alle 39 begutachteten Objekte zeigt (siehe Abb. 3.14), kann der Zustand der Gitter grossmehrheitlich als gut taxiert werden. Es gibt nur zwei Objekte, die wenig befriedigen. Ein signifikanter Einfluss des Alters auf den Zustand der Gitter ist nicht zu erkennen.



0 Pkte: insgesamt schlecht; 100 Pkte: insgesamt gut. Punkte von Objekten gleichen Alters gemittelt.

Abb. 3.14 Zustand der Stützgitter in Abhängigkeit vom Alter der Objekte

3.2.2 Front-Geokunststoff

Systeme

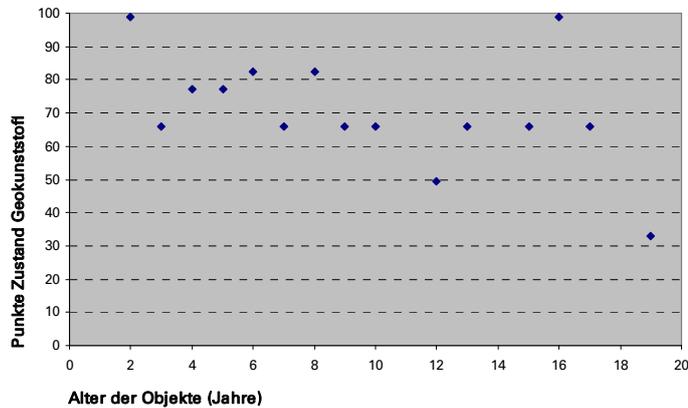
Als Front-Geokunststoffe oder Vegetationsgeotextilien werden verschiedene Materialien eingesetzt: 3-dimensionale Kunststoff-Wirrgelege in einer Drahtstärke von 1-2mm, mehr oder weniger dicht gewobene oder gevlieste Geotextilmatten und schliesslich Kunststoffnetze mit rhombischen Öffnungen von 2 x 8mm. Teilweise wurde anstelle der synthetischen Geotextilien Kokosgewebe in der Stärke von 700gr/m² verwendet. Diese sind allerdings im Alter ab 5 Jahre meist vollständig verrottet, sodass dann stellenweise leichte Erosionsschächte auftreten.

Es scheint, dass die synthetischen Geotextilien und Vliese die Begrünungsqualität stark beeinflussen. An mehreren Objekten konnte festgestellt werden, dass engmaschige Geotextilien von den Wurzeln der Pflanzen kaum durchdrungen werden können und die Vegetationsschicht deshalb stellenweise abblättert. Zwar vermag die aufgespritzte Saatmischung bei optimalen Bedingungen (feuchtes Klima, schattige Standorte) aufzulaufen und zu wachsen. Sobald es aber wärmer und trockener wird, geht der Bewuchs zurück oder fällt total aus (Objekt VS-05).

Auch Front-Geokunststoffe mit grossen rhombischen Öffnungen zeigen an heissen Standorten ihre Schwächen. Hier ist es jedoch die Trockenerosion, die Material herausrieseln lässt und zu einschneidenden Substrat- und Vegetationsverlusten führt. Gut sichtbar ist dieser Prozess bei den Objekten BL-03 und VS-02.

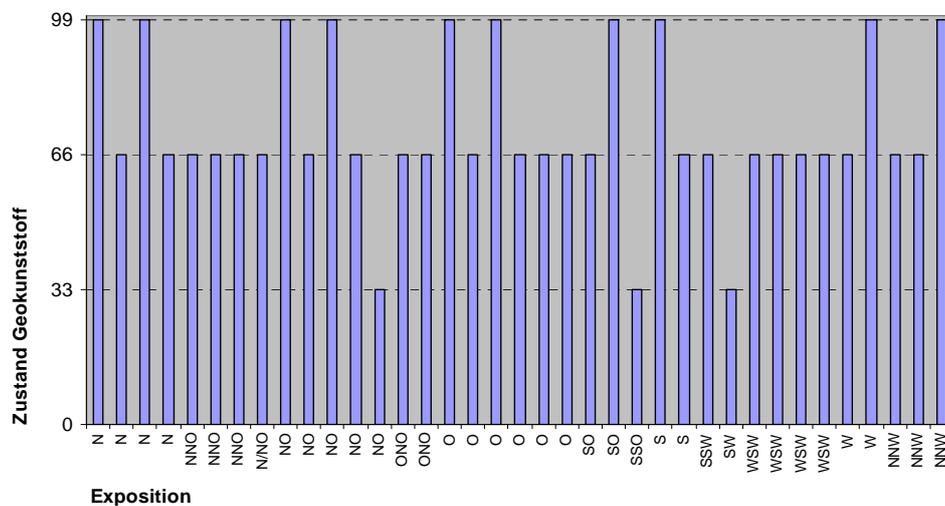
Zustand

Der Zustand der Front-Geokunststoffe bei den 39 begutachteten Objekten ist etwas schlechter als derjenige der Gitter (siehe Abb. 3.15). Die meisten Objekte zeigen zwar mehr gute als schlechte Bereiche, aber bei drei Objekten weisen die Front-Geokunststoffe deutlich mehr schlechte Bereiche auf. Das Alter spielt - zumindest in den ersten 20 Jahren – offensichtlich keine Rolle. Auch die Exposition der Objekte wirkt sich nicht differenzierend aus; schattige Lagen präsentieren sich gleich wie sonnige (siehe Abb. 3.16).



0 Pkte: insgesamt schlecht; 100 Pkte: insgesamt gut. Punkte von Objekten gleichen Alters gemittelt.

Abb. 3.15 Zustand Front-Geokunststoff in Abhängigkeit vom Alter der Objekte



0 Pkte: insgesamt schlecht; 33 Pkte: mehr schlechte Bereiche; 66 Pkte: mehr gute Bereiche; 99 Pkte: insgesamt gut.

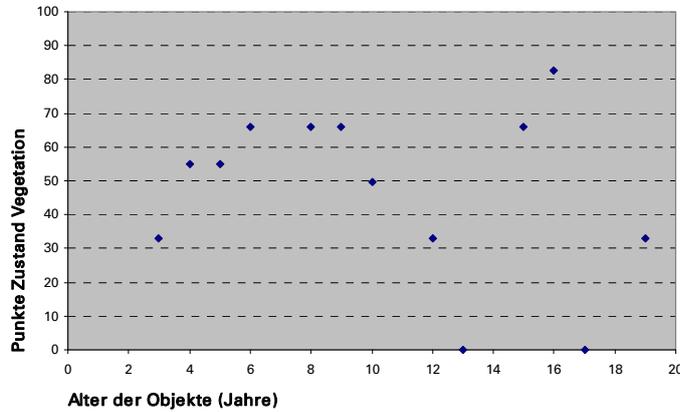
Abb. 3.16 Zustand Front-Geokunststoff in Abhängigkeit von der Exposition der Objekte

3.2.3 Vegetation

Für die Beurteilung werden die Deckung der Vegetation auf der ganzen Front, das Vegetationsbild (Anteile erwünschter Gräser und Kräuter, Anteile unerwünschter Stauden und Neophyten) sowie die Wüchsigkeit beachtet. Diese verschiedenen Aspekte gehen in die Gesamtbeurteilung der Vegetation ein. Werden die Befunde von 39 Objekten aufgelistet, ergibt sich folgendes Bild:

Insgesamt gut:	6 Objekte	15%
mehr gute Bereiche:	19 Objekte	49%
mehr schlechte Bereiche:	9 Objekte	23%
Insgesamt schlecht:	5 Objekte	13%

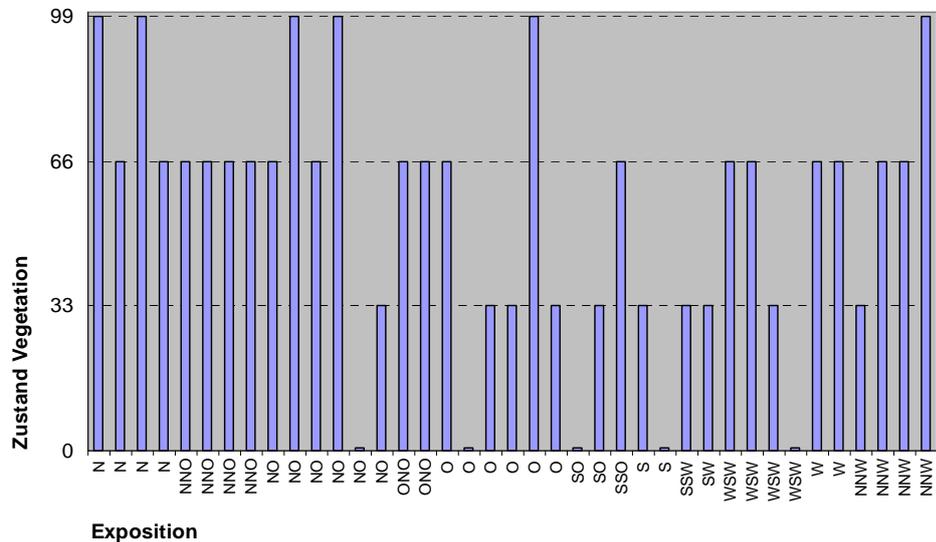
Ein Einfluss des Alters auf den Zustand der Vegetation kann auf Grund der Begutachtung nicht festgestellt werden (siehe Abb. 3.17).



0 Pkte: insgesamt schlecht; 33 Pkte: mehr schlechte Bereiche; 66 Pkte: mehr gute Bereiche; 99 Pkte: insgesamt gut. Punkte von Objekten gleichen Alters gemittelt.

Abb. 3.17 Zustand der Vegetation in Abhängigkeit vom Alter der Objekte

Werden die Objekte nach ihrer Exposition geordnet, zeigt sich erstmals eine deutliche Tendenz: Die Vegetation von Stützgitterböschungen an sonnigen Lagen wird beim Screening deutlich schlechter taxiert als diejenige an schattigen Lagen.



0 Pkte: insgesamt schlecht; 33 Pkte: mehr schlechte Bereiche; 66 Pkte: mehr gute Bereiche; 99 Pkte: insgesamt gut.

Abb. 3.18 Zustand der Vegetation in Abhängigkeit von der Exposition der Objekte

3.2.4 Gesamtbeurteilung

Die technischen Bauteile – Gitter und Front-Geokunststoff – sind somit grossmehrheitlich einwandfrei und die Stabilität der Konstruktionen bezüglich der Front ist gewährleistet.

Anders sieht es bei der Vegetation aus. 64% der Objekte liegen im "grünen Bereich", hingegen 36% im "roten Bereich". Bei 1/3 der Objekte muss also die Begrünung als ungenügend oder gar als gescheitert beurteilt werden. Insbesondere die Objekte an sonstigen Lagen schneiden eher schlecht bis sehr schlecht ab.

3.3 Pflege und Unterhalt

Die Befragung der beauftragten Pflegedienste (siehe Kap. 2.4) erbrachte Auskünfte zu 14 Objekten. Die Daten zur Befragung sind zusammen mit den Objektdaten in der Datenbank abgelegt. Die wichtigsten Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

Art und Häufigkeit Schnitt

Die grosse Mehrheit der Objekte wird maschinell mit Auslegergeräten gepflegt: Mehrheitlich gemulcht, in Einzelfällen mit Spezialbalken gemäht. Wegen der Leitschranken (siehe Abb. 3.19) kommen zusätzlich noch Freischneider zum Einsatz. Das Schnittgut bleibt bei SBB-Objekten liegen, bei National- und Kantonsstrassen wird es entfernt. Bei 9 von 14 Objekten wird nur einmal, bei 5 Objekten zweimal geschnitten.

Probleme Konstruktion

Aus 2 von 14 Objekten rieselt stetig Feinmaterial und kollern Steine, bei 4 Objekten werden herausstehende Eisen erwähnt. Allen Unterhaltsdiensten ist bewusst, dass die Mahd heikel ist und sehr grosse Vorsicht erfordert.

Andere Probleme

Schäden durch Mäuse und Ratten werden bei 5 von 14 Objekten genannt, Probleme mit Unkräutern (Brennnesseln, Winden, Blaken, Neophyten) bei 3 Objekten.

Beurteilung Vegetation

Bei 7 von 14 Objekten sind die Unterhaltsdienste bezüglich Vegetation kritisch, nicht ganz zufrieden oder eigentlich enttäuscht. Bei nur einem Objekt wird die Vegetation als gut, "fast zuviel" beurteilt.

Gesamtbeurteilung

8 von 14 Objekten werden von den Unterhaltsdiensten eher negativ ("Eisen bergen Gefahren für Mensch und Maschine", "Konstruktion nicht unterhaltsfreundlich") oder total ablehnend beurteilt ("es verhebt nicht", "etwas Unglücklicheres als das gibt es nicht"). Wirklich zufrieden äussern sich zwei Kontaktpersonen.

3.4 Schäden und Störfälle

Die meisten dokumentierten Schäden sind beim maschinellen Mähen entstanden. Ansatzpunkte waren oft Mängel an der Konstruktion (schlechte Verbindungen, abstehende Stab-Enden), an denen die Mähgeräte hängen blieben. Betroffen sind dabei hauptsächlich die Stützgitter und nur in geringem Masse die Vegetationsgeotextilien.

Bei Objekten unmittelbar an stark befahrenen Strassen sind zudem bei Aufprall- oder Streifkollisionen Beschädigungen am Stützgitter und an den darunter liegenden Vegetationsgeotextilien zu befürchten. Deshalb sind die meisten solcher Objekte mit Leitschranken gegen die Fahrbahn gesichert oder auf eine stabile Fussmauer (Beton oder Schotterkörbe) aufgesetzt (siehe Abb. 3.19). Sieben Objekte an ebenfalls gut befahrenen Strassen sind erstaunlicherweise nicht vor Beschädigungen durch Aufprall geschützt.

<i>Abb. 3.19 Schutz der Stützkonstruktionen an National- und Kantonsstrassen</i>		
Schutzvorrichtung	Objekte	Bemerkungen
Leitschranke	AG-06 AG-11 AG-15 BL-01 SG-01 SG-02 SG-04 SG-06	
Stabile Fusskonstruktion	AG-02 AG-04 LU-02 VS-05	AG-02: Steinkörbe (nur Verblendung?) VS-05: nur kurze Flügelmauer
Keine Schutzvorrichtung (meist Kantonsstrassen)	AG-07 AG-09 AG-10 AG-13 BE-05 VS-01 VS-03	AG-09: überbreites Bankett VS-03: Nationalstrasse

Schäden durch Brände sind bisher kaum bekannt. Dokumentiert ist ein Autobrand anfangs Oktober 2011 auf der Standspur neben dem Objekt AG-11, bei dem örtlich die Vegetation und geringfügig die Vegetationsgeotextilien in Mitleidenschaft gezogen wurden. Die Bewehrungsgitter wiesen keinerlei Schäden auf.

An dieser Stelle sei auf ein neues System mit bewehrter Erde hingewiesen (siehe Kap. 6.2.3), das sich durch eine vom tragenden Kern völlig unabhängige Aussenhaut auszeichnet (System DYNATEX). Die ca. 40 cm breite Aussenhaut schützt den mit Geokunststoffnetzen bewehrten Füllkörper zuverlässig vor Verwitterung und Beschädigungen, sodass jegliche Gefährdung der Standsicherheit ausgeschlossen werden kann. Als grosses Plus des Systems DYNATEX gegenüber den herkömmlichen Stützgitterböschungen wird die Austauschbarkeit und Reparaturmöglichkeit der Aussenhaut hervorgehoben: Falls diese z.B. durch Aufprall verletzt wird oder falls die Begrünung mit ihrem Substrat ersetzt werden soll, kann ein Austausch von Aussenhautelementen ohne Eingriff in tragende Elemente erfolgen.

4 Eigenschaften der Substrate von Stützgitterböschungen

Bearbeitung: Jens Bohne, David Schwarz

4.1 Korngrößen

4.1.1 Boden vs. Substrat

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Ansaat nicht in einen Boden im Sinne der VBBo erfolgte (vgl. Abb. 4.20 in Wegleitung Verwertung von ausgehobenem Boden, 2002). Als Kulturerdesubstrat dient vielmehr das Material, aus welchem die Stützgitterböschung generell aufgebaut ist. In der Regel handelt es sich dabei um Aushub. Somit ist das Material kaum belebt und unter Umständen sogar verdichtet. Dies sind grundsätzlich schlechte Voraussetzungen für ein flächendeckendes Pflanzenwachstum. Aus fachlicher Sicht muss im Zusammenhang mit den Stützgitterböschungen daher nicht von Boden, sondern von Substrat gesprochen werden.

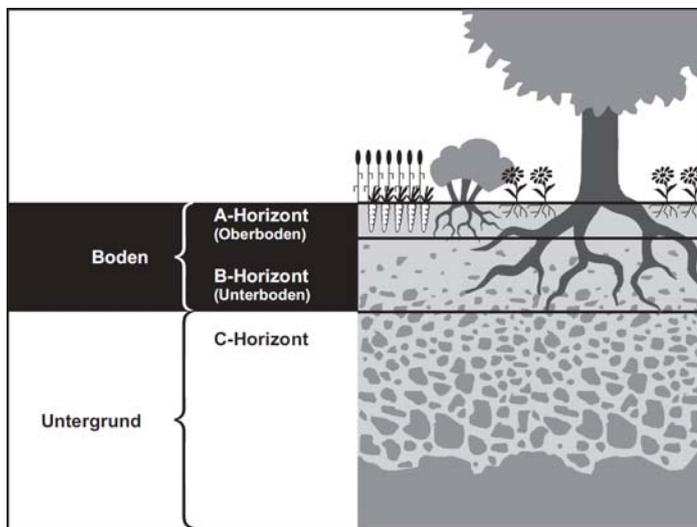


Abb. 4.20 Schema Bodenaufbau

4.1.2 Befunde in den Objekten

Die Beprobung für die Analytik der Korngrößenverteilung wurde einmalig im Sommer 2011 durchgeführt. Die Laborresultate sowie die Massendurchgangdiagramme für alle beprobten Stützgitterböschungen befinden sich auf der beigelegten CD, Datei 4.

AG-01

Ton: die Gehalte liegen bei diesem Objekt im Schnitt knapp unter 10 %, die Höchstgehalte mit 10.4 % (2 m) und 10.2 % (3.5 m) befinden sich in der Mitte der Böschung, am Böschungsfuss. Auf der Böschungskrone wurden leicht tiefere Tongehalte gefunden.

Schluff: die Konzentration ist tendenziell mit zunehmender Höhe leicht ansteigend, auf der Böschungskrone wurde allerdings mit 31.7 % der tiefste Gehalt gemessen.

Sand: der Gehalt auf der Böschungskrone entspricht mit 62.8 % dem Höchstwert. Tendenzuell ist mit zunehmender Probenhöhe eine leicht sinkende Tendenz der Sandkonzentration ersichtlich.

Skelett: die Menge (> 2 mm) steigt mit zunehmender Höhe der Stützgitterböschung an, der höchste Steingehalt wird auf der Böschungskrone gemessen.

AG-11

Ton: Mit zunehmender Beprobungshöhe nehmen die Tongehalte in diesem Objekt ab, den tiefsten Gehalt weist die Böschungskrone auf.

Schluff: der Gehalt ist über die gesamten Höhenstufen relativ konstant und bewegt sich ungefähr bei 35 %.

Sand: ähnlich wie der Schluffgehalt ist eine gewisse Konstanz in den Sandgehalten ersichtlich, diese bewegen sich leicht über 50 %.

Skelett: ein differenziertes Bild weist der Skelettgehalt auf, welcher bis in 3.5 m Höhe leicht ansteigt und danach bis zur Böschungskrone mit dem tiefsten Gehalt stark sinkt.

BL-02

Ton: bei diesem Objekt steigen die Tongehalte mit zunehmender Höhe ebenfalls an, auf der Böschungskrone wird allerdings genau der gleiche Wert wie beim Böschungsfuss gemessen.

Schluff: die Gehalte variieren relativ stark, der Höchstwert wurde in der Böschungskrone erfasst.

Sand: in einer Höhe von 1 m ist der Sandgehalt rund doppelt so hoch wie an den restlichen Probeentnahmestellen, in welchen er sich auf einem sehr konstanten Niveau bewegt.

Skelett: die Konzentration steigt in den unteren Beprobungsstellen massiv an, fällt dann wieder ab und befindet sich bei 3.5 m sowie auf der Böschungskrone auf dem gleichen Stand.

TG-02

Ton: die Gehalte sinken leicht mit zunehmender Beprobungshöhe und erreichen auf der Böschungskrone die tiefsten Werte.

Schluff: weist das gleiche Verteilungsmuster wie Ton auf.

Sand: die Konzentration zeigt im Vergleich zu den anderen Parametern einen gegenteiligen Effekt. Es ist ein leichter Anstieg der Konzentration zur Böschungskrone ersichtlich.

Skelett: die prozentualen Gehalte des Skelettgehaltes befinden sich auf allen gemessenen Höhenstufen auf exakt demselben Wert von 14.4 %.

ZH-01

Ton: auf der hinteren, strassenabgewandten Steilböschung und auf der vorderen, strassenzugewandten Steilböschung bewegen sich die Tongehalte bei allen beprobten Höhen auf gleichem Niveau; die tiefsten Gehalte befinden sich auf der Böschungskrone und bei 1 m vorne.

Schluff: die Gehalte zeigen ein ähnliches Muster wie die Tongehalte mit den geringsten Konzentrationen auf der Böschungskrone und bei 1 m vorne. Alle anderen Werte bewegen sich in derselben Grössenordnung.

Sand: der Gehalt auf der Rückseite der Stützgitterböschung ist konstant, auf der Vorderseite nimmt der Gehalt zur Böschungskrone leicht ab.

Skelett: die Böschungskrone weist bezüglich des Skelettgehaltes den tiefsten Wert auf, an der Rückseite steigt der Gehalt zur Böschungskrone tendenziell an. Die strassenzugewandte Böschung weist sinkende Skelettanteile mit ansteigender Höhe auf.

ZH-03

Ton: befindet sich über die ganze Höhenbeprobung auf einem einheitlichen Niveau, die Böschungskrone weist den tiefsten Wert auf.

Schluff: der Gehalt ist analog dem Tongehalt in etwa gleich über die gesamte Höhe verteilt, wobei die Böschungskrone den höchsten Wert aufweist.

Sand: der Sandanteil verzeichnet von unten nach oben tendenziell eine Abnahme der Werte, eine Stagnation stellt sich bei den oberen beiden Werten ein.

Skelett: das Verteilungsmuster des Skelettgehaltes zeigt starke Schwankungen in der Verteilung der Steine, eine Tendenz ist nicht ersichtlich.

4.1.3 Übersicht Befunde

Die verschiedenen Stützgitterböschungen zeigen generell objektspezifische Kurven für die Korngrößenverteilung. Der Skelettgehalt (Korn > 2 mm) schwankt in den Höhenstufen der Objekte zum Teil extrem. Die Tongehalte liegen über alle Objekte betrachtet in der Grössenordnung von 10 %, der Schluffanteil (=Siltanteil) befindet sich ungefähr bei 40 %. Der Sandgehalt liegt somit um die 50 %, schwankt aber analog der anderen beiden Kornfraktionen objektbezogen in beide Richtungen.

4.2 Nährstoffe, pH-Wert und Salzgehalt

4.2.1 Befunde in den Objekten

Um die leicht verfügbaren Pflanzennährstoffe zu erfassen, wurden im Labor die Substratproben auf die Parameter Nitrat, Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium analysiert. Eine Übersicht über die Normbereiche zeigt Abb. 4.21, über die erhobenen Befunde Abb. 4.22. Für detaillierte Werte siehe beigelegte CD, Datei 5.

Abb. 4.21 Normbereich der leichtverfügbaren Nährstoffe	
Parameter	Normbereich [$\mu\text{mol/l}$]
Nitrat	250 – 750
Phosphor	10 – 30
Kalium	100 – 300
Magnesium	100 – 300
Calcium	300 – 600
pH-Wert	6.5 – 7.5
Salzgehalt	100 – 200

AG-01

Nitrat: bezüglich des Nitratgehalts ist bei diesem Objekt keine höhenbezogene Tendenz feststellbar, die Gehalte befinden sich insgesamt auf einem tiefen Niveau.

Phosphat: die Phosphatwerte weisen einen leicht steigenden Trend mit zunehmender Höhe auf, der Höchstwert wird auf der Böschungskrone gemessen. Insgesamt ist der Phosphatgehalt gering.

Kalium: der höchste Kaliumgehalt ist in der Böschungskrone gefunden worden, die Gehalte in den Höhenstufen weisen kein Muster auf, liegen aber im unteren Normbereich.

Magnesium: der Magnesiumgehalt ist im Böschungsfuss am höchsten, in den restlichen Proben ist der Wert konstant. Gemäss dem Normbereich ist der Gehalt an Magnesium eher tief.

Calcium: ist im Gegensatz zu den anderen Nährstoffen mengenmässig in grossen Mengen verfügbar. Der Böschungsfuss weist die grössten Mengen auf, die anderen Proben bewegen sich auf einem konstanten Niveau.

pH-Wert: das Substrat weist bei diesem Objekt einen gleich bleibenden, leicht basischen pH-Wert um 8 auf.

Salz: das Objekt weist den höchsten Salzgehalt im Böschungsfuss auf, liegt aber über alle Höhenstufen betrachtet im normalen Normbereich. Eine eindeutige Tendenz des Gehaltes ist nicht ersichtlich.

AG-11

Nitrat: die Nitratkonzentrationen sind sehr gross und weisen am Böschungsfuss den Höchstwert auf. Die nächsten drei Höhenstufen befinden sich leicht unter dem Höchstwert und die Böschungskrone enthält nur noch einen Bruchteil des in der Böschung festgestellten Nitrats.

Phosphor: der Phosphorgehalt steigt zunächst bis auf eine Höhe von 3.5 m an und fällt danach wieder ab. Die Konzentrationen liegen im unteren Bereich der Böschung in der gemäss Normbereich normalen und in der obersten Probe sowie der Böschungskrone im tiefen Bereich.

Kalium: beim Parameter Kalium zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Phosphor: ein Ansteigen der Werte bis auf eine Höhe von 3.5 m, danach ein Rückgang der Konzentration. Der Tiefstwert ist auf der Böschungskrone. Ausser der Böschungskrone befinden sich die Kaliumgehalte in einer normal bis hohen Konzentration im Substrat.

Magnesium: zeigt die gleiche Tendenz wie die Parameter Kalium und Phosphor, der Normbereich reicht von normal bis zu hohen Gehalten des Magnesiums in den Proben.

Calcium: beim Calcium wiederholt sich dasselbe Verteilungsmuster wie bei den drei vorgängig beschriebenen Parametern. Die Normbereiche liegen allerdings durchwegs in hohen bis sehr hohen Bereichen.

pH-Wert: der pH-Wert weist über die Gesamthöhe betrachtet nur geringe Schwankungen auf, der Gehalt liegt im leicht basischen Bereich.

Salz: die Stützgitterböschung weist einen schwankenden Salzgehalt auf. Die geringste Konzentration ist auf der Böschungskrone gemessen worden.

BL-02

Nitrat: die Nitratgehalte befinden sich in den ersten beiden Höhenstufen im tiefen Konzentrationsbereich, steigen bei 3.5 m massiv an und liegen auf der Böschungskrone wieder im tiefen Bereich.

Phosphor: ist über das ganze Objekt betrachtet im analysierten Substrat praktisch nicht vorhanden.

Kalium: schwankt über die Höhenbeprobung stark, eine Tendenz lässt sich nicht erkennen.

Magnesium: die Konzentrationen sind relativ konstant, befinden sich allerdings ebenfalls im eher tiefen Bereich.

Calcium: ist als einziges Element in grossen Mengen verfügbar, die Konzentration steigt mit der Beprobungshöhe an, ist auf der Böschungskrone aber wieder tiefer.

pH-Wert: ist über die Objekthöhe konstant und befindet sich eher im basischen Bereich.

Salz: der Gehalt steigt mit der Höhe der Stützgitterböschung an, die Böschungskrone weist allerdings wieder einen tieferen Gehalt auf.

TG-02

Nitrat: der gemäss Normbereich eher tiefe Nitratgehalt schwankt bei den Proben, eine Tendenz lässt sich nicht festhalten.

Phosphor: der Gehalt nimmt mit ansteigender Höhe zu und erreicht auf der Böschungskrone den im normalen Normbereich liegenden Höchstwert. In der Böschung selber befindet sich die Phosphorkonzentration eher im tiefen Bereich.

Kalium: zeigt in der Mitte des Objekts den höchsten Gehalt, am Böschungsfuss und auf der Böschungskrone sind die Konzentrationswerte identisch. Der Kaliumgehalt liegt im Übergang zwischen tief bis normal des Normbereichs.

Magnesium: die Gehalte steigen mit der Höhe an, weisen dann aber auf der Böschungskrone den tiefsten Gehalt auf. Dieser Nährstoff ist ebenfalls nur in tiefen Konzentrationen vorhanden.

Calcium: weist eine abnehmende Tendenz mit zunehmender Böschungshöhe auf. Der Normbereich reicht deshalb für die Calciumgehalte von hohen bis zu tiefen Gehalten.

pH-Wert: die Analyseresultate für den pH-Wert liegen über die ganze Böschung verteilt in derselben Grössenordnung und zeigen keine Tendenzen. Mit einem Wert um 8.1 liegt das Substrat im basischen Bereich.

Salz: das Objekt weist mit zunehmender Höhe einen abnehmenden Salzgehalt auf, welcher leicht über dem normalen Bereich liegt.

ZH-01

Nitrat: die Gehalte sind auf der strassenabgewandten Seite und der Böschungskrone konstant und liegen gemäss Norm im tiefen Bereich. Die Vorderseite weist eine mit zunehmender Höhe ansteigende Tendenz der Nitratgehalte auf, welche wiederum im tiefen Normbereich angesiedelt sind.

Phosphor: ist auf der strassenabgewandten Seite und der Böschungskrone in der gleichen Konzentration vorhanden. Auf der Vorderseite ist eine leicht steigende Tendenz mit zunehmender Höhe der Stützgitterböschung erkennbar. Die Phosphorgehalte liegen im gesamten Objekt im tiefen Normbereich.

Kalium: die Konzentration sinkt auf der strassenabgewandten Seite vom Böschungsfuss zur Böschungskrone. Auf der Vorderseite ist der Gehalt konstant. Er liegt auf dem ganzen Objekt im Normbereich zwischen tief bis normal.

Magnesium: der Gehalt ist in allen analysierten Proben ungefähr auf dem gleichen Niveau und befindet sich gemäss Normbereich im normalen Bereich.

Calcium: steigt auf der strassenabgewandten Seite mit zunehmender Höhe leicht an, auf der vorderen Seite und der Böschungskrone befinden sich die Gehalte auf gleichem Niveau. Die Calciumkonzentration liegt insgesamt im normalen bis hohen Normbereich.

pH-Wert: ist auf der Vorder- und Rückseite konstant und bewegt sich im Schnitt im leicht basischen Bereich von 8.1.

Salz: die Stützgitterböschung weist über alle analysierten Proben einen einheitlichen Salzgehalt auf, einzig die Probe des Böschungsfusses auf der strassenzugewandten Seite ist leicht tiefer als die anderen. Gesamthaft betrachtet ist der Salzgehalt im normalen Normbereich angesiedelt.

ZH-03

Nitrat: die Gehalte schwanken über die gesamte Böschungshöhe im unteren Normbereich, Tendenzen sind keine ersichtlich.

Phosphor: ist in geringen Mengen vorhanden, bei den mittleren beiden Höhenstufen findet sich doppelt so viel Phosphor als auf der Böschungskrone und im Böschungsfuss.

Kalium: der Gehalt steigt mit zunehmender Beprobungshöhe an und erreicht den Höchstwert auf der Böschungskrone. Insgesamt liegt der Kaliumgehalt im normalen Normbereich.

Magnesium: ist in allen analysierten Proben in derselben tiefen Menge vorhanden.

Calcium: ein mit zunehmender Höhe ansteigender Konzentrationsgehalt weist der Parameter Calcium auf, welcher analog dem Kaliumgehalt auf der Böschungskrone den Höchstwert aufweist. Der Gehalt liegt im oberen Normbereich.

pH-Wert: die Stützgitterböschung weist einen leicht abnehmenden pH-Wert mit zunehmender Beprobungshöhe auf, der pH-Wert liegt in allen Höhen im basischen Bereich.

Salz: mit zunehmender Beprobungshöhe steigt der Salzgehalt kontinuierlich an und erreicht den Höchstwert somit auf der Böschungskrone, die Konzentration liegt im normalen Normbereich.

4.2.2 Übersicht Befunde

Nährstoffe

Die Nährstoffe verhalten sich, abgesehen von einer Ausnahme (BL-02), in den Objekten generell konstant. Die Nährstoffgehalte sind im Allgemeinen eher im tiefen bis mittleren Konzentrationsbereich angesiedelt.

Der Stickstoffgehalt ist bei allen Objekte tief, eine Ausnahme bildet das Objekt AG-11. Phosphor ist ebenfalls bei allen beprobten Stützgitterböschungen in tiefen bis sehr tiefen Konzentrationen in den Substraten vorhanden. Der Kalium- und Magnesiumgehalt schwankt in Bezug zum Normbereich objektabhängig zwischen tiefen bis normalen Konzentrationen. Calcium ist als einziger Nährstoffparameter durchgehend im normalen bis sehr hohen Normbereich gefunden worden.

Salzgehalt, pH-Wert

Der Salzgehalt schwankt in den beprobten Stützgitterböschungen zwischen "normal" bis "sehr grossen" Mengen in Bezug zum Normgehalt. Eine direkte Beziehung zur Strassennähe ist auf den ersten Blick nicht gegeben, da sowohl das Objekt AG-11 (Autobahn A3) und das Objekt BL-02 (zwischen Bahngleis und Nebenstrasse) sehr hohe Salzkonzentrationen aufweisen. Allerdings quert in 380 m Luftlinie zum Objekt BL-02 in westlicher Richtung die Autobahn A2 auf einem Viadukt das Tal, sodass bei Westwind ein Heranwehen von Salzgischt nicht ganz ausgeschlossen ist. Das ebenfalls erhöhte Salzgehalte aufweisende Objekt TG-02 liegt direkt unterhalb einer schattigen Kantonsstrasse. Dass die relativ höchsten Salzgehalte nie im Bereich der Böschungskrone gemessen werden, dürfte mit der Auswaschung durch den Regen zusammenhängen.

Die Substratproben weisen generell über alle Objekte betrachtet einen basischen pH-Wert auf. Für Böden ist ein solcher Wert eher untypisch. Weshalb die Proben in diesem Bereich liegen, kann auf Grund der Datenlage nicht beurteilt werden.

Abb. 4.22 Nährstoffgehalte, pH und Salzgehalt und ihre Abweichungen vom Normbereich in den beprobten Stützgitterböschungen

Objekt	Nitrat	Phosphor	Kalium	Magnesium	Calcium	pH-Wert	Salz
AG-01	--	---	--	---	+++	++	+/-
G-11	+++	+/-	++	++	+++	++	+++
BL-02	--	---	--	--	+++	++	+++
TG-02	--	--	+/-	--	+/-	++	++
ZH-01	--	--	+/-	+/-	++	++	+/-
ZH-03	--	--	+/-	--	+/-	++	+/-

+++	sehr viel	--	eher wenig
++	eher viel	---	sehr wenig
+/-	normal		

4.3 Wassergehalt

4.3.1 Niederschlag

Die Niederschlagsdaten (siehe beigelegte CD, Datei 6) zeigen, dass im Jahr der Beprobung (2011) bei allen Objekten die Monate Februar, März und April sehr trocken sind. Im Mai steigt die Niederschlagsmenge leicht an und erreicht im Juli bei allen Objekten die Jahreshöchstwerte. Danach gehen die Niederschläge zurück. Im Oktober sind nur geringe Niederschlagsmengen gemessen und im November praktisch keine Regentage mehr verzeichnet worden. Die Niederschlagssummen am Objekt TG-02 im Zeitraum der Beprobungskampagnen zeigt ebenfalls Datei 6 auf der beigelegten CD.

4.3.2 Befunde in den Objekten

AG-01

Exposition: NNW

Höchste Wassergehalte Sommer: Böschungskrone ($w = 26.7\%$)

Höchste Wassergehalte Herbst: in 2 m Höhe ($w = 23.2\%$)

Wassergehalt in den Seitenflächen Sommer: ungefähr konstante Gehalte

Wassergehalt in den Seitenflächen Herbst: bis 2 m Höhe grösste Wassergehalte

AG-11

Exposition: SW

Höchste Wassergehalte Sommer: Böschungsfuss ($w = 7.6\%$)

Höchste Wassergehalte Herbst: Böschungskrone ($w = 24.3\%$)

Wassergehalt in den Seitenflächen Sommer: gegen Böschungskrone abnehmend

Wassergehalt in den Seitenflächen Herbst: ungefähr konstante Gehalte

BL-02

Exposition: NNO

Höchste Wassergehalte Sommer: Böschungskrone ($w = 21.3\%$)

Höchste Wassergehalte Herbst: 3.5 m Höhe ($w = 22.4\%$)

Wassergehalt in den Seitenflächen Sommer: ungefähr konstante Gehalte

Wassergehalt in den Seitenflächen Herbst: gegen Böschungskrone zunehmend

TG-02

Exposition: NNW

Höchste Wassergehalte Sommer: Böschungsfuss ($w = 9.6\%$)

Höchste Wassergehalte Herbst: Böschungsfuss ($w = 16.9\%$)

Wassergehalt in den Seitenflächen Sommer: ungefähr konstante Gehalte

Wassergehalt in den Seitenflächen Herbst: ungefähr konstante Gehalte

ZH-01

Exposition: SSO

Höchste Wassergehalte Sommer: Böschungskrone ($w = 27.6\%$)

Höchste Wassergehalte Herbst: Böschungskrone ($w = 24.1\%$)

Wassergehalt Seitenflächen Sommer: auf der strassenabgewandten Seite gegen Böschungskrone zunehmend; die strassenzugewandte Seite weist ab 2 m Höhe ebenfalls zunehmende Wassergehalte gegen die Böschungskrone auf

Wassergehalt Seitenflächen Herbst: auf beiden Seiten gegen Böschungskrone zunehmend

ZH-03

Exposition: WSW

Höchste Wassergehalte Sommer: 3.5 m Höhe ($w = 24.1\%$)

Höchste Wassergehalte Herbst: Böschungsfuss ($w = 22.4\%$)

Wassergehalt in den Seitenflächen Sommer: variiert, keine Tendenz feststellbar

Wassergehalt in den Seitenflächen Herbst: ab 2.5 m gegen Böschungskrone zunehmend

4.3.3 Übersicht Befunde

Die Beprobung zeigt (siehe Abb. 4.23), dass die höchsten Wassergehalte in der Böschungskrone und knapp unterhalb anzutreffen sind oder im Böschungsfuss (1 m über OK-Terrain) gemessen werden. Die Höchstgehalte variieren aber auch innerhalb der gleichen Objekte zwischen den Beprobungen im Sommer und Herbst. In den Böschungsfußflächen lassen sich keine eindeutigen Tendenzen feststellen. Gewisse Objekte weisen über die beprobten Höhenstufen eine Zu- respektive Abnahme der Wassergehalte zur Böschungskrone hin auf. Bei anderen Stützgitterböschungen bewegen sich die Werte in den Böschungsfußflächen auf ungefähr dem gleichen Niveau.

Abb. 4.23 Höchste Wassergehalte in den beprobten Stützgitterböschungen

Objekt	Exposition	Typ	Böschungskrone		Böschungsfuss	
			Sommer	Herbst	Sommer	Herbst
AG-01	NNW	Hangvorschüttung	x			x
TG-02	NNW	Hangvorschüttung			x	x
ZH-01	SSO	Hangvorschüttung	x	x		
AG-11	SW	Wall		x	x	
ZH-03	WSW	Wall	x			x
BL-02	NNO	Wall	x	x		

x Höchstwert

5 Vegetation ausgewählter Stützgitterböschungen

Bearbeitung: Beat Stöckli

5.1 Untersuchte Objekte

5.1.1 Untersuchungsobjekte

Zur Aufnahme und Analyse der Vegetation wurden 14 Objekte ausgewählt und beprobt (siehe Kap. 2.1.3). Da im Fokus der Untersuchung die Nachhaltigkeit der Begrünung steht, also die Fähigkeit, über lange Zeit hinweg eine stabile, gut wurzelnde und deckende sowie ästhetisch befriedigende Vegetationsdecke auszubilden und aufrechtzuerhalten, interessieren nicht in erster Linie die jüngsten Ansaaten, sondern die gereiften Objekte mit mehrjähriger Standdauer. Diese sollten sich in erster Linie in den intensiv genutzten Gebieten des Mittellandes befinden. Da hier Platzknappheit, Lärmbelastung und Wunsch nach Grün eine zentrale Rolle spielen, erscheinen begrünbare Stützgitterböschungen in vielen Problemsituationen als ideale Lösung.

Abb. 5.24 Übersicht über die Untersuchungsobjekte

Code	Gemeinde	Lokalität	Objektyp	Höhe, Exposition
AG-01	Aarau/AG	Schachen, entlang SBB	Hangvorschüttung	370 müM, Exp. NNW
AG-02a	Aarburg/AG	Ortsumfahrung, Knoten Paradiesli-tunnel/Bahnhofstrasse	Hangvorschüttung	405 müM, Exp. SSW
AG-02b	Aarburg/AG	Ortsumfahrung, Knoten Paradiesli-tunnel/Bahnhofstrasse	Hangvorschüttung	405 müM, Exp. NNO
AG-09	Küttigen/AG	Giebel, neue Staffeleggstrasse	Hangvorschüttung	475 müM, Exp. WSW
AG-10	Murgenthal/AG	Hauptstrasse, entlang SBB	freistehender Damm	405 müM, Exp. SO
AG-11	Oeschgen/AG	Nationalstrasse A3, Spur Basel	freistehender Damm	335 müM, Exp. SW
AG-13	Rothrist/AG	Gländstrasse, unterhalb Nussweg	Hangvorschüttung	420 müM, Exp. WSW
AG-15	Zeiningen/AG	Nationalstrasse A3, Spur Zürich	Hangvorschüttung	340 müM, Exp. N
BL-01	Arisdorf/BL	Nationalstrasse A2, Spur Basel	freistehender Damm	370 müM, Exp. SW
BL-02	Itingen/BL	Parallelweg, entlang SBB	freistehender Damm	360 müM, Exp. NNO
SG-06	Rheineck/SG	Nationalstrasse A1, Spur St. Gallen	freistehender Damm	340 müM, Exp. WSW
TG-02	Steckborn/TG	Glarisegg, entlang Veloweg	Hangvorschüttung	405 müM, Exp. NNW
ZH-01	Küsnacht/ZH	Forch, Im Grossacher, entlang Forch-Schnellstrasse	Hangvorschüttung	675 müM, Exp. SSO
ZH-03	Bassersdorf/ZH	Baltenswil, Schinenbuelstrasse, entlang SBB	freistehender Damm	465 müM, Exp. WSW

Doch gerade der verbreitete Einsatz im Lärmschutz schränkt auch die postuliert gute Zugänglichkeit der Untersuchungsobjekte ein. Stützgitterböschungen an Lärmschutzwällen entlang der SBB konnten gleisseitig nicht beprobt werden, da sie nur mit einem

völlig unverhältnismässigen Aufwand zugänglich wären. Ebenfalls erschwert ist der Zugang zu Objekten entlang der Nationalstrassen. Die NSNW als Unternehmen, das mit der Pflege der Nationalstrassen im Raum Aargau/Solothurn/Luzern beauftragt ist, verlangt für Untersuchungen von Böschungen aus Sicherheitserwägungen die Sperrung der angrenzenden Standspur, was einen längeren Vorlauf erfordert und nicht gratis ist. Die aufwändige Methode der Deckungsmessung, die den Einsatz von sperrigen Zählrahmen, Leitern und Sicherungsmaterial erfordert, konnte deshalb nur an einem Nationalstrassenobjekt (AG-11) eingesetzt werden, dessen Standspur vorgängig vom Unterhaltsdienst gesperrt wurde. Bei den andern Objekten an Nationalstrassen (AG-15, BL-01, SG-06, XX-02) wurde die bezüglich Materialeinsatz einfachere Methode der Deckungsschätzung eingesetzt, die ohne Betreten der Standspur realisierbar war.

Schliesslich sollen bei der Untersuchung die wichtigsten Objekttypen, nämlich Stützgitterböschungen an Hangvorschüttungen wie auch an freistehenden Wällen zu möglichst gleichen Teilen einbezogen werden.

Der Deckungsgrad der Vegetation wurde sowohl geschätzt als auch mit dem Zählrahmen als Abundanz gemessen. Als Referenz für die Messung mit dem Zählrahmen wurden zwei weitere Objekte beprobt. Die gewählten Referenzobjekte sind keine Stützgitter-, sondern normal geneigte Wiesenböschungen, die beide südexponiert, aber unterschiedlich besonnt (XX-01 mit Schattenwurf), unterschiedlich mager und unterschiedlich trocken sind.

<i>Abb. 5.25 Übersicht über die Referenzobjekte</i>				
XX-01	Aarau/AG	Weinbergstrasse 56	normale Böschung (keine Stützgitterböschung)	420 müM, Exp. S
XX-02	Effingen/AG	Nationalstrasse A3, Spur Basel (bei Werkeinfahrt)	normale Böschung (keine Stützgitterböschung)	445 müM, Exp. SW

5.1.2 Vegetationsaufnahmen

In den aufgelisteten Untersuchungs- sowie Referenzobjekten wurden insgesamt 112 zufällig ausgewählte Vegetationsflächen untersucht. Auf den unterschiedlich grossen Flächen wurden die angetroffenen Pflanzenarten notiert, ihre jeweilige Deckung sowie die Gesamtdeckung der Vegetation geschätzt und mit dem Zählrahmen die Abundanz bestimmt. Die Vegetationsaufnahmen finden sich auf der beigelegten CD, Datei 3.

5.2 Arten

5.2.1 Durchschnittliche Artenzahl

An den untersuchten Stützgitterböschungen wurden pro m² durchschnittlich 7 verschiedene Pflanzenarten gezählt (siehe Abb. 5.26). Die Zahl schwankt zwischen nur 2 Arten im Minimum und 13 Arten im Maximum. Wird die Untersuchungsfläche grösser gewählt, können etwa 16 Arten gefunden werden, wobei auch hier eine grosse Schwankung zwischen 7 und 24 Arten auftritt.

Die für einen Bestand repräsentative Probefläche ist das Minimum-Areal (Trempe 2005). Auf dem Minimum-Areal sollten alle auf dem Standort möglichen Arten vorhanden sein. Abb. 5.26 zeigt, dass die in der ersten Untersuchungsgruppe (Aufnahmegruppe 1) untersuchte Probefläche von 1 m² - die Fläche des eingesetzten Zählrahmens - zu klein ist, um alle am Standort möglichen Arten zu erfassen. Die Probefläche muss grösser gewählt werden. Für die Erfassung des Artenbestandes von Intensivweiden und artenarmen Pionierassen sind gemäss Erfahrungen Probeflächen von 10 m² nötig, während für Wiesen und Magerrasen 10 - 25 m² als sinnvoll genannt werden (Trempe 2005). Die für die zweite Untersuchungsgruppe (Aufnahmegruppe 2) gewählte Probeflächengrösse von 10 m² dürfte deshalb für künstlich aufgebaute und angesäte Vegetationsflächen ausreichend sein, um nahezu alle möglichen Arten zu enthalten. Da das Verhältnis Ar-

tenzahl/Arealgrösse eine Sättigungskurve beschreibt (Trempe 2005), bringen Probeflächen an Stützgitterböschungen, die grösser als 10 m² sind, voraussichtlich nur unwesentlich mehr Arten zum Vorschein.

Abb. 5.26 Durchschnittliche Artenzahl pro Aufnahme und Fläche

Objekt	Anzahl Aufnahmen	Anzahl Arten auf Probefläche 1 m ²		Anzahl Arten auf Probefläche 12 m ²	
		Mittelwert	StdAbw.	Mittelwert	StdAbw.
AG-01	10	9.3	1.8		
AG-02a	4			12.5	1.2
AG-02b	4			8.5	1.7
AG-09	6			16.3	2.7
AG-10	8			16.9	2.3
AG-11	10	4.7	1.3		
AG-13	3			21.0	1.0
AG-15	5			16.4	2.5
BL-01	7			11.1	1.3
BL-02	10	8.4	1.6		
SG-06	8			20.3	3.2
TG-02	6	9.2	2.3		
ZH-01	10	3.5	1.6		
ZH-03	10	9.8	3.3		
Aufnahme-gruppe 1	56	6.8	3.0		
Aufnahme-gruppe 2	45			15.6	4.4

Die grosse Schwankung der durchschnittlichen Artenzahl ist nicht mit dem Alter zu erklären. Die scheinbaren Unterschiede zwischen den gebildeten Altersklassen sind nicht signifikant. Auch die Prüfung bezüglich der Exposition der Aufnahmeflächen (siehe Abbildung 5.28) ergibt keine Abhängigkeit; die Artenzahlen sonniger Lagen schwanken ähnlich stark wie die Artenzahlen schattiger Lagen. Die offensichtlich grossen Unterschiede bezüglich Artenzahl zwischen den einzelnen Objekten müssen durch andere Faktoren (u.a. Substrat, Fronttextil, Vegetation der Umgebung, Pflege) bedingt sein.

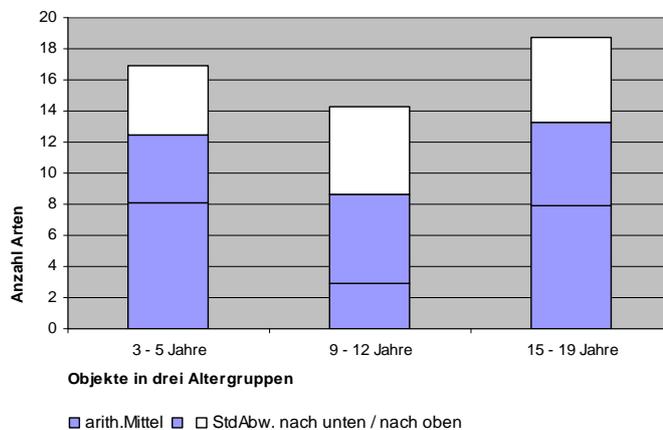


Abb. 5.27 Artenzahl der Aufnahmen in Abhängigkeit vom Alter der Steilböschungen

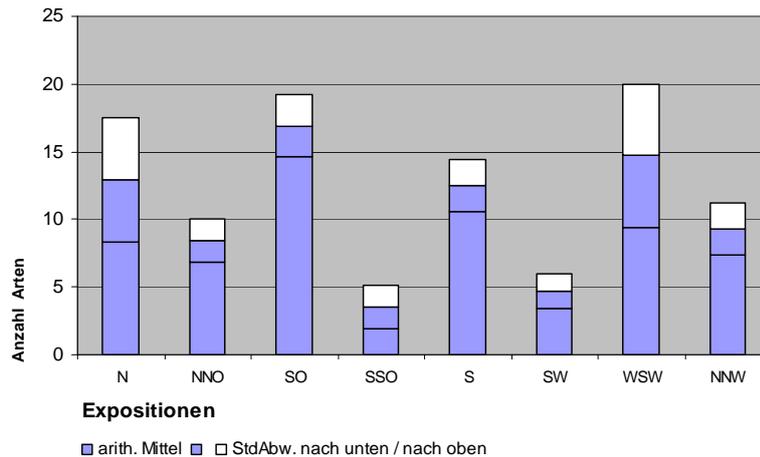


Abb. 5.28 Artenzahl der Aufnahmen in Abhängigkeit der Exposition der Steilböschungen

5.2.2 Liste aller Arten

Arten

Die häufigsten in Stützgitterböschungen nachgewiesenen Arten sind in Abb. 5.29 aufgelistet. Nur drei Arten (Rotschwingel, Labkraut und aufrechte Trespe) kommen in mehr als der Hälfte aller Aufnahmen vor.

Lebensformen

Die Gruppierung der häufigsten Arten in Stützgitterböschungen nach ihren Lebensformen ergibt folgendes Bild:

Moose und Flechten	7%
Farne und Schachtelhalme	3%
Gräser	14%
Krautige	62%
Holzige	14%

Die Anteile von Moosen, Gräsern und Kräutern gleichen den Verhältnissen in mageren Wiesen. Eher unüblich in solchen Wiesen ist der hohe Anteil von Farnen, Schachtelhalmen und Holzgewächsen. Ihre Präsenz in Stützgitterböschungen weist darauf hin, dass sich gewisse Objekte in Veränderung befinden und sich von Rasen- und Wiesensansaaten zu saumartigen Beständen umwandeln. Säume sind Standorte in Kontakt- und Übergangsbereichen, die räumlich vor allem zwischen dem Gebüschmantel des Waldes und offenen Wiesengesellschaften vorkommen, aber auch zeitlich im Verlauf einer Sukzession - z.B. bei aufhörender Nutzung als Wiese - auftreten können (Oberdorfer 1983).

Lebensdauer

82% aller Arten sind mehrjährig, 18% ein- oder zweijährig. Auffällig, aber für den Standort typisch, ist die hohe Zahl von Arten, die sehr tief zu wurzeln vermögen (siehe Abb. 5.29). Ebenfalls sehr gut vertreten sind die Arten, die mittels Spross- oder Wurzelaufläufers in die Breite wachsen und neue Tochterpflanzen bilden können.

Abb. 5.29 Häufigste Arten in den untersuchten Stützgitterböschungen

Stetigkeit	Fre- quenz	Species	Her- kunft	Lebens- form	Lebens- dauer	Aus- läufer	Wurzel- tiefe (cm)
64.84%	59	<i>Festuca rubra</i> aggr.	a	G	m	A	40
57.14%	52	<i>Galium album</i> Mill.	s	K	m	A	>160
50.55%	46	<i>Bromus erectus</i> Huds.	a	G	m		~80
41.76%	38	<i>Dactylis glomerata</i> L.	s	G	m		90-100
34.07%	31	<i>Agropyron repens</i> (L.) P. Beauv.	s	G	m	A	?
34.07%	31	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) J.&C. Presl	s	G	m		>100
30.77%	28	<i>Sanguisorba muricata</i> (Spach) Gremli	a	K	m		160
26.37%	24	<i>Plantago lanceolata</i> L.	s	K	m		60
23.08%	21	<i>Lotus corniculatus</i> L.	a	K	m		40
19.78%	18	<i>Bromus hordeaceus</i> L.	s	G	e		60
19.78%	18	<i>Epilobium parviflorum</i> Schreb.	s	K	m		?
18.68%	17	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	a	K	m		190
18.68%	17	<i>Sonchus asper</i> Hill	s	K	e		?
17.58%	16	<i>Achillea millefolium</i> L.	a	K	m		?
17.58%	16	<i>Festuca guesfalica</i> Boenn.	a	G	m		35-40
17.58%	16	<i>Geum urbanum</i> L.	s	K	m		?
16.48%	15	<i>Glechoma hederacea</i> L.	s	K	m	A	?
16.48%	15	<i>Potentilla reptans</i> L.	s	K	m	A	>90
16.48%	15	<i>Senecio jacobaea</i> L.	s	K	m		60-80
16.48%	15	<i>Taraxacum officinale</i> aggr.	s	K	m		260
16.48%	15	<i>Urtica dioeca</i> L.	s	K	m	A	80
15.38%	14	<i>Brachytecium rutabulum</i> (Hedw.) Schimp.	s	M	m		-
15.38%	14	<i>Poa angustifolia</i> L.	a	G	m	A	30-40
15.38%	14	<i>Sedum album</i> L.	a	K	m	A	10
13.19%	12	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	s	F	m		?
13.19%	12	<i>Hypericum perforatum</i> L.	s	K	m		50-60
13.19%	12	<i>Oenothera biennis</i> L.	s	K	e		?
12.09%	11	<i>Galium verum</i> L.	a	K	m		150
12.09%	11	<i>Rubus caesius</i> L.	s	K	m	A	<200
10.99%	10	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	s	K	e		?
10.99%	10	<i>Origanum vulgare</i> L.	a	K	m		?
10.99%	10	<i>Phyllitis scolopendrium</i> (L.) Newman	s	F	m		?
10.99%	10	<i>Senecio inaequidens</i> DC.	s	K	m		?
9.89%	9	<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	s	M	m		-
9.89%	9	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	s	K	m	A	?
9.89%	9	<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	s	K	m		100
9.89%	9	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	s	K	m		70-320
9.89%	9	<i>Sanguisorba minor</i> Scop.	a	K	m		160
8.79%	8	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) P. Beauv.	s	G	m		-
8.79%	8	<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.	s	K	m	A	?
8.79%	8	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	s	K	m	A	120

8.79%	8	Solidago serotina Aiton	s	K	m		?
8.79%	8	Thymus pulegioides L.	a	K	m	A	100
7.69%	8	Vicia sepium L.	s	K	m	A	40-60
7.69%	7	Ajuga reptans L.	s	K	m	A	40
6.59%	7	Cirsium arvense (L.) Scop.	s	K	m	A	40-300
7.69%	7	Hedera helix L.	s	H	m	A	?
7.69%	7	Holcus lanatus L.	s	G	m		55-90
7.69%	7	Medicago lupulina L.	a	K	m		50
7.69%	7	Senecio erucifolius L.	s	K	m		?
7.69%	7	Weissia viridula Brid.	s	M	m		-
6.59%	6	Cirriphyllum piliferum (Hedw.) Grout	s	M	m		-
6.59%	6	Dianthus carthusianorum L.	a	K	m		190
6.59%	6	Lapsana communis L.	s	K	e		?
5.49%	5	Crepis capillaris Wallr.	s	K	e		40
5.49%	5	Echium vulgare L.	s	K	m		260
5.49%	5	Epilobium hirsutum L.	s	K	m		?
5.49%	5	Geranium pyrenaicum Burm. F.	s	K	m		~40
5.49%	5	Geranium robertianum L.	s	K	e		~40
5.49%	5	Petrorhagia saxifraga (L.) Link	a	K	m		?
5.49%	5	Hieracium pilosella L.	a	K	m	A	10-15
5.49%	5	Homalothecium sericeum (Hedw.) Schimp.	s	M	m		-
5.49%	5	Rubus fruticosus aggr.	s	H	m	A	?
5.49%	5	Scleropodium purum (Hedw.) Limpr.	s	M	m		-
5.49%	5	Sonchus oleraceus L.	s	K	e		?

Stetigkeit: Vorkommen der Art in allen Aufnahmen in Prozent
 Frequenz: Vorkommen der Art in allen Aufnahmen in absoluten Zahlen
 Herkunft a = vermutlich angesät/gepflanzt, s = spontan aufgekommen
 Lebensform M = Moos, F = Farn, G = Gras, K = Kraut, H = Holzgewächs
 Lebensdauer e = ein- oder zweijährig, m = mehrjährig (Oberdorfer 1990)
 Ausläufer A = Pflanze mit Spross- oder Wurzel ausläufern
 Wurzeltiefe Kutschera & Lichtenegger 1992, Oberdorfer 1990, eigene Messung (Lotus corniculatus)
 ? keine Angaben greifbar
 - keine Wurzeln



Abb. 5.30 Tiefwurzler

Dank ihren tief reichenden Pfahlwurzeln präsentieren sich Blacke, Löwenzahn, Brennnessel, Gemeines Leimkraut und Knau gras frisch grün, während flach wurzelnde Grasarten darben (AG-04/06.09.11/BST)



Abb. 5.31 Trichterspinnne

Die schlechte Entwicklung der flach wurzelnden Grasarten schafft offene Bereiche, die von Trichterspinnen für ihre kunstvollen Fangeinrichtungen genutzt werden (AG-04/05.07.2011/BST)

<i>Abb. 5.32 Übrige Arten in den untersuchten Stützgitterböschungen</i>	
Frequenz	Spezies
4	Artemisia vulgaris L., Barbula fallax Hedw., Crataegus oxyacantha auct., Festuca arundinacea Schreb., Fraxinus excelsior L., Poa pratensis L., Prunus spinosa L., Silene nutans L.
3	Peltigera (Erdflechte), Brachypodium sylvaticum (Huds.) P. Beauv., Bryum capillare aggr., Coronilla varia L., Dianthus armeria L., Equisetum arvense L., Fragaria vesca L., Malva alcea L., Poa compressa L., Rosa canina L., Rosa spinosissima auct., Sedum rupestre L., Veronica persica Poir., Vicia cracca L.
2	Amelanchier ovalis Medik., Asplenium trichomanes L., Cardamine hirsuta L., Carex acutiformis Ehrh., Carex muricata aggr., Chrysanthemum leucanthemum L., Clematis vitalba L., Dipsacus fullonum L., Erigeron annuus (L.) Pers., Euphorbia helioscopia L., Galium aparine L., Geranium pratense L., Inula conyza DC., Knautia arvensis (L.) Coult., Medicago sativa L., Ranunculus acris, Setaria viridis (L.) P. Beauv., Tilia platyphyllos Scop., Tortella tortuosa aggr., Veronica montana L.
1	Acer campestre L., Acer pseudoplatanus L., Berberis vulgaris L., Bromus sterilis L., Centaurea scabiosa L., Chenopodium album L., Cornus sanguinea L., Corylus avellana L., Filipendula ulmaria (L.) Maxim., Galeopsis tetrahit L., Helianthemum nummularium (L.) Mill., Hieracium murorum L., Hylocomium splendens (Hedw.) Schimp., Leontodon hispidus L., Ligustrum vulgare L., Lolium perenne L., Lysimachia nummularia L., Matricaria discoidea DC., Phalaris arundinacea L., Phleum pratense L., Picris hieracioides L., Poa nemoralis L., Prunus mahaleb L., Rumex acetosa L., Salix elaeagnos Scop., Salix purpurea L., Scrophularia nodosa L., Sedum sexangulare L., Senecio vulgaris L., Sinapis arvensis L., Trifolium pratense L., Trifolium repens L., Tussilago farfara L., Verbascum thapsus L., Veronica filiformis Sm.

5.2.3 Angesäte und gepflanzte Arten

Ob eine Art angesät oder gepflanzt wurde, wäre durch lückenlose Erstellungsdaten belegbar. Allerdings konnten von keinem der untersuchten Objekte zweifelsfrei Samenmischungen oder Pflanzlisten zur Verfügung gestellt werden. Bei den Objekten mit dem System Textomur wurde von den Auskunftspersonen eine Grundmischung erwähnt; ob diese allerdings beim konkreten Objekt eingesetzt oder allenfalls modifiziert wurde, ist ungewiss. Die in den Aufnahmen als eingebracht (angesät, gepflanzt) taxierten Arten sind in Abb. 5.33 aufgelistet.

<i>Abb. 5.33 In Stützgitterböschungen nachgewiesene, vermutlich eingebrachte Arten</i>	
Häufige Arten in Grünlandmischungen	Achillea millefolium L./Schafgarbe, Agrostis tenuis L./Straussgras, Bromus erectus Huds./Aufrechte Trespe, Centaurea scabiosa L./Wiesen-Flockenblume, Festuca rubra aggr./Rotschwengel, Galium verum L./Echtes Labkraut, Lolium perenne/Englisch Raygras, Lotus corniculatus L./Schotenklee Hornklee, Medicago lupulina L./Hopfenklee, Origanum vulgare L./Dost, Poa angustifolia L./Schmalblättriger Wiesenschwingel, Sanguisorba minor Scop./Kleiner Wiesenknopf, Sanguisorba muricata (Spach) Gremli/Stachliger Wiesenknopf, Silene nutans L./Nickendes Leimkraut, Silene vulgaris (Moench) Garcke/Gemeines Leimkraut, Thymus pulegioides L./Thymian, Trifolium dubium/Fadenklee, Trifolium pratense L./Rotklee
Häufige Arten in Gründachmischungen	Dianthus carthusianorum L./Kartäuser-Nelke, Festuca guestfalica Boenn./Hartschwengel, Petrorhagia saxifraga (L.) Link/Steinbrech-Felsennelke, Helianthemum nummularium (L.) Mill./Sonnenröschen, Koeleria macrantha/Kammshiele, Sedum album L./Weisser Mauerpfeffer, Sedum rupestre L./Felsen-Mauerpfeffer, Sedum sexangulare L./Milder Mauerpfeffer
Anspruchslose Gehölze	Amelanchier ovalis Medik./Felsenbirne, Berberis vulgaris L./Berberize, Ligustrum vulgare L./Liguster, Prunus mahaleb L./Felsenkirsche, Rosa canina L./Hagrose, Rosa spinosissima auct./Reichstachelige Rose, Salix elaeagnos Scop./Lavendel-Weide

Abb. 5.34 Häufigste, vermutlich eingebrachte Gräser sowie Kräuter

Stetigkeit	Species	Art	Lebensdauer	Ausläufer	Wurzeltiefe (cm)
65%	<i>Festuca rubra</i> aggr.	Rotschwingel	m	A	40
51%	<i>Bromus erectus</i> Huds.	Aufrechte Trespe	m		~80
18%	<i>Festuca guestfalica</i> Boenn.	Schafschwingel	m		35-40
15%	<i>Poa angustifolia</i> L.	Schmalblättr. Rispengras	m	A	30-40
31%	<i>Sanguisorba muricata</i> (Spach) Gremli	Stachliger Wiesenknopf	m		160
23%	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Hornklee	m		40
19%	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	Gemeines Leimkraut	m		190
18%	<i>Achillea millefolium</i> L.	Gemeine Schafgarbe	m		?
15%	<i>Sedum album</i> L.	Weisser Mauerpfeffer	m	A	10
12%	<i>Galium verum</i> L.	Echtes Labkraut	m		150
11%	<i>Origanum vulgare</i> L.	Dost	m		?

Stetigkeit: Vorkommen der Art in allen Aufnahmen in Prozent

Von den vermutlich eingebrachten Gräsern sind nur Rotschwingel und Aufrechte Trespe in mehr als der Hälfte der Aufnahmen (noch) vertreten; Schafschwingel und Schmalblättriges Rispengras finden sich markant weniger, nämlich nur in 18 resp. 15% aller Aufnahmen. Unter den angesäten Kräutern, die in den Samenmischungen gegenüber den Grasarten in der Regel zurücktreten, ist nur der Stachlige Wiesenknopf relativ häufig zu finden (31% der Aufnahmen). Der in allen Ansaatmischungen präsente Hornklee findet sich in 23% aller Aufnahmen, während die in Mischungen ebenfalls beliebten Arten Gemeines Leimkraut und Schafgarbe nur in 19 resp. 18% der Aufnahmen anzutreffen sind.

5.2.4 Spontan aufgekommene Arten

Abb. 5.35 Häufigste mehrjährige spontane Arten

Stetigkeit	Species	Art	Lebensform	Ausläufer	Wurzeltiefe (cm)
57%	<i>Galium album</i> Mill.	Weisses Labkraut	K	A	>160
42%	<i>Dactylis glomerata</i> L.	Knaulgras	G		90-100
34%	<i>Agropyron repens</i> (L.) P. Beauv.	Kriechende Quecke	G	A	?
34%	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) J. & C. Presl	Glatthafer, Fromental	G		>100
26%	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Spitzwegerich	K		60
20%	<i>Epilobium parviflorum</i> Schreb.	Kleinblütiges Weidenröschen	K		?
18%	<i>Geum urbanum</i> L.	Gemeine Nelkenwurz	K		?
16%	<i>Glechoma hederacea</i> L.	Gundelrebe	K	A	?
16%	<i>Potentilla reptans</i> L.	Kriechendes Fingerkraut	K	A	>90
16%	<i>Senecio jacobaea</i> L.	Jakobs-Kreuzkraut	K		60-80

16%	Taraxacum officinale aggr.	Löwenzahn	K		260
16%	Urtica dioeca L.	Brennnessel	K	A	80
15%	Brachythecium rutabulum (Hedw.) Schimp.	Gemeines Kurz- büchsenmoos	M		-
13%	Dryopteris filix-mas (L.) Schott	Wurmfarn	F		?
13%	Hypericum perforatum L.	Echte Johanniskraut	K		50-60
12%	Rubus caesius L.	Kratzbeere	K	A	<200
11%	Phyllitis scolopendrium (L.) Newman	Hirschwurmfarn	F		?
11%	Senecio inaequidens DC.	Verschiedenblättr. Kreuzkraut	K		?

Stetigkeit: Vorkommen der Art in allen Aufnahmen in Prozent
 Lebensform: M = Moos, F = Farn, G = Gras, K = Kraut, H = Holzgewächs
 Ausläufer: A = Pflanze mit Spross- oder Wurzeläusläufern

Ausbreitungswege

Jeder angesäte Grünlandbestand verändert sich. Einerseits breiten sich die eingebrachten Arten aus oder gehen zurück und verschieben damit ihre Flächenanteile; andererseits treten spontane Arten hinzu, die entweder aus dem Substrat aufgelaufen sind oder nach der Ansaat auf verschiedenen Wegen den neu begründeten Bestand erreicht haben. Die Ausbreitungswege der spontanen Arten sind von besonderem Interesse, da sie Rückschlüsse auf die ökologischen Bedingungen der Empfängerflächen ermöglichen.

Alle spontanen Arten mit einer Frequenz >2 (zwei- oder mehrmals in allen Aufnahmen vorkommend) wurden daher auf ihre Ausbreitungswege hin analysiert (siehe Abb. 5.36). Die Angaben zur Ausbreitung stammen aus Müller-Schneider (1983), Lindacher (1995) sowie Dannemann & Jackel (2004). Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei einer Art auch mehrere Ausbreitungswege möglich sind. Wasserwanderer (Hydrochorie) werden weggelassen.

Wind- und Menschenwanderer

Die Übersicht zu den Ausbreitungswegen der analysierten 82 spontan vorkommenden Arten zeigt, dass mit 60 Arten die Windwanderer erwartungsgemäss am häufigsten sind. Entweder fliegen die Samen dank Schirmchen oder luftgefüllten Hohlkörpern ("Ballons") oder die Samen werden herausgeschleudert, weil der Wind an den hochragenden, dünnen Stengeln "rüttelt". Mit deutlichem Abstand an zweiter Stelle (20 Nennungen) folgen die Arten, die ihre Ausbreitung menschlicher Tätigkeit verdanken. Als Beispiel sei das Schmalblättrige Greiskraut / Senecio inaequidens genannt, das aus Südafrika stammt und sich aktuell stark ausbreitet. Beide Objekte mit seinem Vorkommen (AG-15, SG-06) grenzen an Autobahnen.

Selbstverbreiter und Tierwanderer

Ähnlich häufig wie die Menschenwanderer sind Arten, die sich selbst auszubreiten vermögen (17 Nennungen) oder die durch Tiere verbreitet werden (18 Nennungen). Mehr als die Hälfte der Selbstverbreiter sind Selbstbleger, nämlich Arten mit Wurzel-Ausläufern oder langen, kriechenden Trieben, dank derer sie Tochterpflanzen bilden oder in einer Distanz von der Wurzel der Mutterpflanze die Samen ablegen können. Bei den Tierwanderern gut vertreten sind die Arten, deren Früchte v.a. von Vögeln gefressen und deren Samen dann ausgeschieden werden (Darmwanderer). Fünf Arten werden wegen der ölhaltigen Samenanhängsel von Ameisen gesammelt und ihre Samen dadurch verbreitet. Schliesslich gibt es unter den spontan aufgekommenen Pflanzenarten eine Anzahl (5 Nennungen), deren Samen auf verschiedene Weise an Tieren hängen bleiben und später irgendwo wieder abfallen.

Abb. 5.36 Ausbreitungsweisen der in Stützgitterböschungen häufigsten spontan aufgetretenen Arten			
1 Selbstverbreiter (Autochorie)			
10 Selbstverbreiter generell (keine detaillierten Angaben)			
11 Selbstbleger (Blastautochorie)		10	
12 Selbstausstreuer (Ballautochorie)		7	
121 Saftdruckstreuer			0
122 Austrocknungstreuer			5
13 Bodenkriecher (Herpautochorie)		0	
14 Selbstaussäer (Barautochorie)		0	
Total Selbstverbreiter	17		
2 Schwerkraftwanderer (Barochorie)			
20 Schwerkraftwanderer generell (keine detaillierten Angaben)	4	5	
3 Windwanderer (Anemochorie)			
30 Windwanderer generell (keine detaillierten Angaben)		6	
31 Flieger (Meteoranemochorie)		37	
310 Flieger generell (keine detaillierten Angaben)			7
311 Ballonflieger			12
312 Schirmchenflieger			14
313 Scheiben- und Segelflieger			3
314 Dreh- oder Schraubenflieger			1
32 Bodenläufer (Chamanemochorie)		3	
33 Windstreuer (Ballanemochorie)		14	
Total Windwanderer	60		
5 Tierwanderer (Zoochorie)			
51 Zufallsverbreitung durch Tiere (Dyszoochorie)		1	
52 Bearbeitungsverbreitung (Rhipsozoochorie)		0	
53 Speicherverbreitung (Synzoochorie)		0	
54 Mundwanderer (Stomatozoochorie)		5	
541 - mit Ölkörpern (Elaiosomen)			5
542 - mit Fruchtfleisch oder Samenmantel			0
55 Darmwanderer (Endozoochorie)		7	
56 Anhafter (Epizoochorie)		5	
561 Kletthafter (Euepizoochorie)			3
562 Klebhafter (Collepizoochorie)			1
563 Wasser- oder Adhäsionshafter (Hydroepizoochorie)			0
564 Tierstreuer (Ballepizoochorie)			1
Total Tierwanderer	18		
6 Menschenwanderer (Anthropochorie)			
61 Gartenflüchter		0	
62 Importbegleiter		17	
63 Kulturrelikt		0	
64 Agrikulturbegleiter		3	
Total Menschenwanderer	20		

5.2.5 Besondere Arten

Alle festgestellten spontanen Arten sind nicht gefährdet und fast durchwegs weit verbreitet. Besondere Arten kommen wenige vor. Als geschützte, regional weniger häufige oder am Standort ausserordentliche Arten seien die folgenden genannt. Wie Abb. 5.37 zeigt, wurden sie nur an älteren Objekten gefunden.

<i>Abb. 5.37 Übersicht über spontan aufgekommene, besondere Arten</i>			
Art	Objekt	Alter	
Phyllitis scolopendrium / Hirschzunge (siehe Abb. 5.38)	AG-01	15	Art schattiger, steiniger Schluchtwälder mit ausserordentlich starker Population am Objekt; dort in Ausbreitung begriffen. Im Kanton Aargau geschützt.
Dianthus armeria / Raue Nelke (siehe Abb. 5.42)	AG-15	9	Art von warmen Säumen auf eher kalkarmen Standorten. In der Schweiz im Mittelland verbreitet (Lauber & Wagner 1996). Im Kanton Aargau geschützt.
Geranium pratense / Wiesen-Storchschnabel (siehe Abb. 5.40)	SG-06	17	Art frischer Fettwiesen und feuchter Riedflächen. In der Schweiz nicht häufig, v.a. in der Ostschweiz vorkommend (Lauber & Wagner 1996)
Veronica montana / Berg-Ehrenpreis (siehe Abb. 5.41)	AG-13	9	Art frischer, eher kalkarmer Buchen- und Erlenwälder. In der Schweiz im mittleren und östlichen Mittelland inkl. Nordalpen verbreitet (Lauber & Wagner 1996)
Peltigera sp. / Hundsflechte (siehe Abb. 5.43)	BL-02	5	Erdflechten sind nicht häufig und finden sich v.a. in Trockenrasen. Am Objekt BL-02 siedelt sie im obersten, vermutlich trockensten Drittel der Stützgitterböschung.



Abb. 5.38 Hirschzunge

Bereichsweise bildet die Hirschzunge zwischen den Wedeln des Wurmfarne ausserordentliche, geschlossene Teppiche (AG-01, 06.09.2011/BST)



Abb. 5.39 Hirschzunge und Streifenfarn

Neben den Jungpflanzen des Hirschzungen-Farne hat sich auch ein Streifenfarn/Asplenium trichomanes eingefunden (AG-01, 06.09.2011/BST)



Abb. 5.40 Wiesen-Storchschnabel

Natürliche Standorte des Wiesen-Storchschnabel gibt es in unmittelbarer Nähe von SG-06 entlang der Ufer des Alten Rheins (Foto: www.wikipedia.org, 2012)



Abb. 5.41 Berg-Ehrenpreis

Auf der gegenüberliegenden Seite des Objekts AG-13 stockt ein frischer Buchenwald mit natürlichen Standorten der Pflanze (Foto: www.wikipedia.org, 2012)



Abb. 5.42 Raue Nelke

Die kleinen Blüten der Rauhen Nelke stehen gedrängt und sind von purpurner Farbe mit hellen Tupfen (AG-15, 08.09.2011/BST)



Abb. 5.43 Erdflechten

Diese Flechte aus der Gattung Peltigera besitzt eine graue Ober- und eine hellgraue Unterseite (BL-02, 27.04.2011/BST)

5.2.6 Zugehörigkeit zu soziologisch-ökologischen Gruppen

Ökologische Gruppe

Die ökologische Gruppe gemäss Kunick (1974) in Lindacher (1995) umschreibt einen Lebensraum mit charakteristischen Standorteigenschaften. Er deckt sich zum Teil mit den höheren pflanzensoziologischen Einheiten (Verbände, Ordnungen, Klassen), ist damit aber nicht identisch. Die Auswertung der spontan aufgekommenen Arten nach Zugehörigkeit zu ökologischen Gruppen (siehe Abb. 5.44) zeigt, dass die meisten klar zuweisbaren Arten dem Grünland entstammen. Da alle Stützgitterböschungen ein- bis zweimal gemäht werden und die verwendeten Ansaatmischungen darauf hin abgestimmt wurden, entspricht dieser Befund den Erwartungen. Auffällig sind die folgenden 22 Arten, die ruderal beeinflussten Hochstaudengesellschaften, Ruderalgesellschaften oder Unkrautfluren zugeordnet werden. Ihre starke Präsenz weist darauf hin, dass die Bestände an den Steilböschungen nicht geschlossen und die Narben so lückig sind, dass Ruderalarten Fuss fassen können. Bemerkenswert sind ferner die 12 Arten, die ihre Hauptverbreitung in Wäldern, Gebüschern und deren Säumen haben. Ähnlich wie in Wiesen zeigen solche Arten nicht geschlossene Grasnarben und geringe Schnitthäufigkeit an.

Abb. 5.44 Häufigste ökologische Gruppen unter den spontan aufgekommenen Arten in Stützgitterböschungen

Frequenz	Bezeichnung
14	Art des Grünlandes frischer bis mässig trockener Standorte
8	Art ruderal beeinflusster Hochstaudengesellschaften
7	Art der wärmeliebenden, mehrjährigen Ruderaffuren und ruderalen Halbtrockenrasen
7	Art der Hackfrucht- und Gartenunkrautgesellschaften bzw. Vogelfutterpflanze, die im Bereich der Gärten regelmässig vorkommt
6	Art nährstoffliebender Laubwälder und Gebüschgesellschaften
6	Art der stickstoffbeeinflussten Gebüsch- und Saumgesellschaften
4	Art wärmeliebender Saumgesellschaften

Zuordnung der Arten und Bezeichnungen der ökologischen Gruppen gemäss Lindacher (1995)

Pflanzengesellschaften

Eine Zuordnung der untersuchten Pflanzenbestände zu pflanzensoziologischen Einheiten auf Stufe Gesellschaft oder Verband ist nicht möglich. Auf Grund des Artenspektrums und der nachgewiesenen ökologischen Gruppen lassen sich die begrünten Steilböschungen am ehesten der Ordnung halbruderaler Pionier- Trocken- und Pionier-Halbtrockenrasen / *Agropyretalia intermedii-repentis* (Oberdorfer 1983, Wilmanns 1989) zuweisen. Aus dieser Gruppe scheint als einziges das Objekt AG-01 mit seinen auffallend vielen Farnen herauszufallen (siehe Abb. 5.38, 5.39). Die gleichzeitig gut vertretenen Grasarten (Glatthafer, Gersten-Trespe, Wolliges Honiggras) und die Arten ruderal beeinflusster Stauden- und Saumgesellschaften (Brennnessel, div. Weidenröschen, Gemeine Nelkenwurz) weisen jedoch darauf hin, dass auch hier keine Fels- oder Mauerrücken-Gesellschaft, sondern ebenfalls ein halbruderal geprägter Standort vorliegt. Die starke Präsenz der Farnen erklärt sich durch die Exposition und die günstige Umgebung: In bloss 400 – 600 m Luftlinie finden sich an den Felsen und Schutthalden des Hasen- und Eppenbergs, die ebenfalls nordexponiert sind, zahlreiche natürliche Standorte von Hirschwurz, Wurm- und Streifenfarn.

5.3 Deckung der Vegetation

5.3.1 Gesamtdeckung

Die Schätzung der Gesamtdeckung gestaltete sich nicht einfach. Während die Probe- fläche auf einer leicht geneigten Böschungswiese umschritten werden und von allen Seiten geschätzt werden kann, lassen die übersteilen Flächen der Stützgitterböschungen kein solches Vorgehen zu. Zudem sind etliche Probeflächen nur mit Leitern erreichbar, was die Schätzung stark erschwert. Auch Flächen an der Basis sind schwierig zu schätzen, wenn sie an stark befahrenen Strassen liegen und eine Beurteilung der Probefläche aus verschiedenen Distanzen nicht möglich ist. Je nach Lage der Probeflächen musste ihre Gesamtdeckung von schräg unten, von rechts oder von links, von ganz nahe oder eher aus grösserer Distanz geschätzt werden. Die von der Methode geforderte Schätzung der senkrecht projizierten Blattfläche aller Arten (siehe Kap. 2.3.2) konnte deshalb nicht konsequent durchgehalten werden. Die Abbildungen 5.45 – 5.48 zeigen Beispiele von Probeflächen mit den jeweiligen Schätzwerten für die Gesamtdeckung und den mit dem Zählrahmen ermittelten Werten für die Abundanz.

Die Schätzwerte für die Gesamtdeckung sind somit mit methodenbedingten grossen Streuungen behaftet. Da alle Probeflächen fotografiert wurden - allerdings wiederum aus unterschiedlichen Distanzen und Blickwinkeln - konnten auffällige Schätzwerte bei der Datenanalyse überprüft und allenfalls korrigiert werden.



Abb. 5.45 Beispiel Deckung I

AG-11/6: Gesamtdeckung 70%, Abundanz 19%
(30.05.2011/BST)



Abb. 5.46 Beispiel Deckung II

BL-02/1: Gesamtdeckung 80%, Abundanz 49%
(27.04.2011/BST)



Abb. 5.47 Beispiel Deckung III

ZH-03/3: Gesamtdeckung 70%, Abundanz 46%
(28.04.2011/BST)



Abb. 5.48 Beispiel Deckung IV

ZH-03/4: Gesamtdeckung 90%, Abundanz 76%
(28.04.2011/BST)

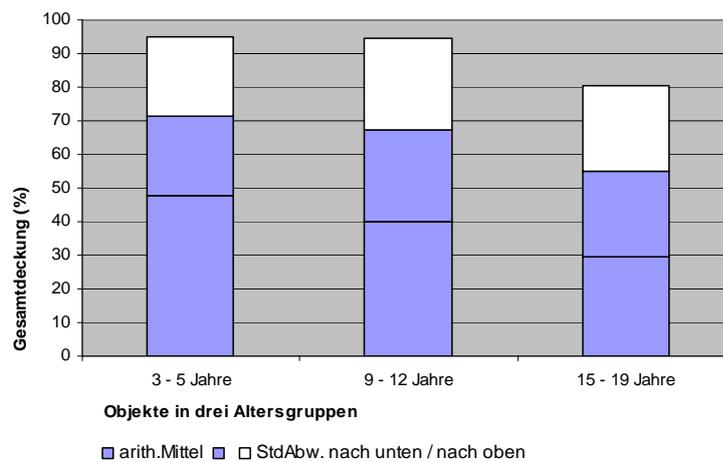


Abb. 5.49 Gesamtdeckung der Vegetation nach dem Alter der Objekte

Die durchschnittliche Gesamtdeckung aller untersuchten Objekte beträgt ca. 66% bei einer sehr grossen Streuung (Standardabweichung 26.2%; siehe Abb. 5.54, rechte Spalten). Etwa 2/3 der Fläche einer durchschnittlichen Stützgitterböschung ist somit vegetationsbedeckt, 1/3 der Fläche ist ohne Vegetation. Die grosse Streuung könnte bedingt sein durch die unterschiedlichen Alter oder die unterschiedlichen Expositionen der Böschungen. Gruppirt man die Deckungswerte nach dem Alter der Böschungen in drei Kategorien, zeigt sich allerdings keine signifikante Abhängigkeit.

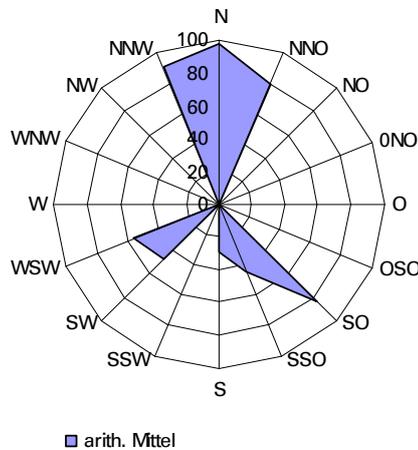
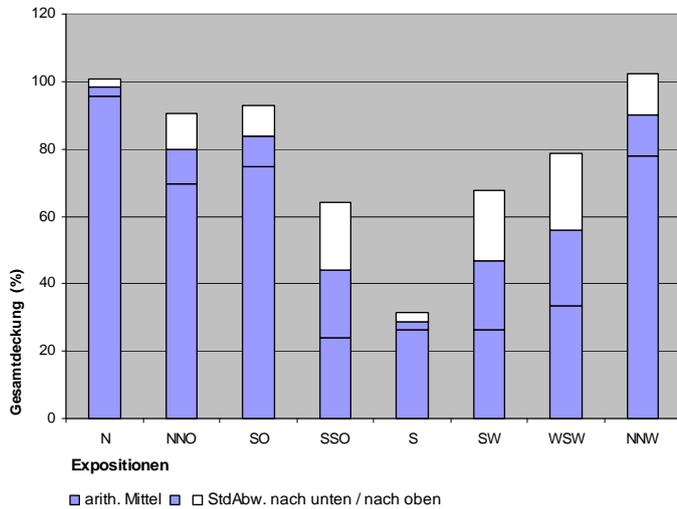


Abb. 5.50 Gesamtdeckung der Vegetation nach der Exposition der Objekte

Ein anderes Bild zeigt die Gruppierung der Aufnahmen nach der Exposition der untersuchten Flächen (siehe Abb.5.50). Der Datensatz enthält nicht von allen Expositionen Objekte; von den 16 unterschiedenen Expositionen gibt es nur von 8 Expositionen Objekte. Der Verlauf der Deckungswerte von schattigen zu sonnigen und wieder zu schattigen Lagen zeigt dennoch eine deutliche Abhängigkeit. In südexponierten Lagen ist die Gesamtdeckung am geringsten, in nordexponierten Lagen am höchsten. Anders verhält es sich bei der Artenzahl: Eine Abhängigkeit der Artenzahl vom Ausmass der Besonnung ist nicht zu erkennen (siehe Abb. 5.28).

5.3.2 Artmächtigkeit angesäter und spontaner Arten

Die Artmächtigkeit wird für jede einzelne Art geschätzt (siehe Kap.2.3.2). Der Schätzwert ist vor allem bei kleinen Anteilen mit grossen Fehlern behaftet. Aussagekräftiger wird der Wert, wenn die Artmächtigkeiten mehrerer Arten zu einer Gesamtmächtigkeit addiert werden. Die Artmächtigkeit wird deshalb als Mass verwendet, um die Gesamtmächtigkeit aller angesäten resp. aller spontanen Arten in einer Aufnahme zu beschreiben.

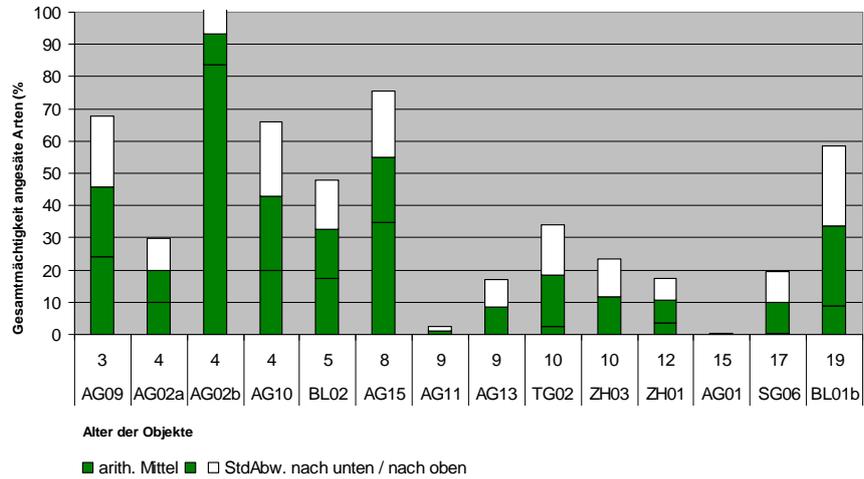


Abb. 5.51 Gesamtmächtigkeit der angesäten Arten nach Alter der Objekte

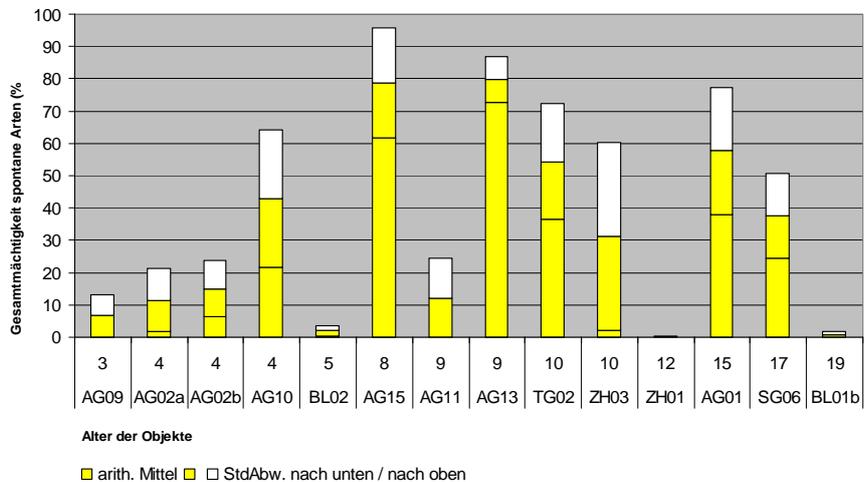


Abb. 5.52 Gesamtmächtigkeit der spontanen Arten nach Alter der Objekte

Die Auswertungen in Abb. 5.51 und Abb. 5.52 zeigen grosse Schwankungen der Werte innerhalb der Objekte und zwischen den Objekten. Gleichwohl wird eine Tendenz sichtbar, dass mit zunehmendem Alter die angesäten Arten an Deckung verlieren, während die spontanen Arten ihre Flächenanteile vergrössern. Die gesamte Bedeckung durch Vegetation nimmt aber nicht zu (siehe Abb. 5.53), sondern scheint, wie schon die Gesamtdeckung (Abb. 5.49), eher geringer zu werden.

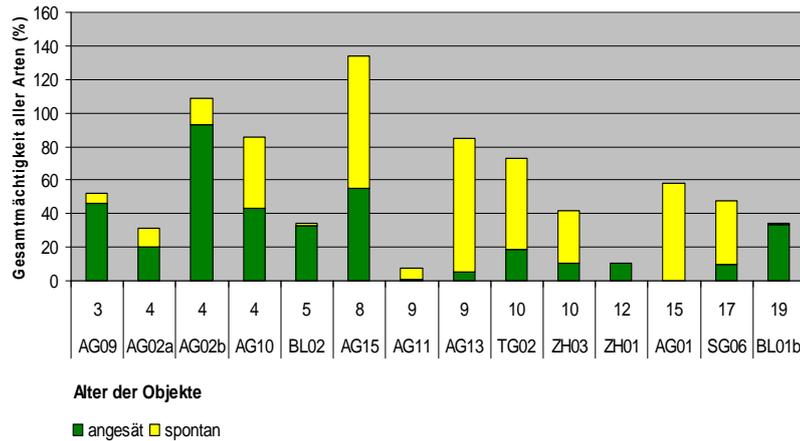


Abb. 5.53 Arith. Mittel der Gesamtmächtigkeit aller Arten nach Alter der Objekte

Werden die Aufnahmen nach den Expositionen geordnet, lassen die spontanen Arten eine Tendenz erkennen (siehe Abb. 5.55): In eher gut berechneten und schattigen Lagen (Expositionen WSW, NNW, N, NNO) nehmen spontane Arten deutlich Platz ein, während sie in warmen und trockenen Lagen weniger Fläche abdecken. Bei den angesäten Arten gibt es keine von der Exposition bestimmte Tendenz (siehe Abb. 5.54); sie scheinen aber mit zunehmendem Alter der Objekte an Mächtigkeit zu verlieren.

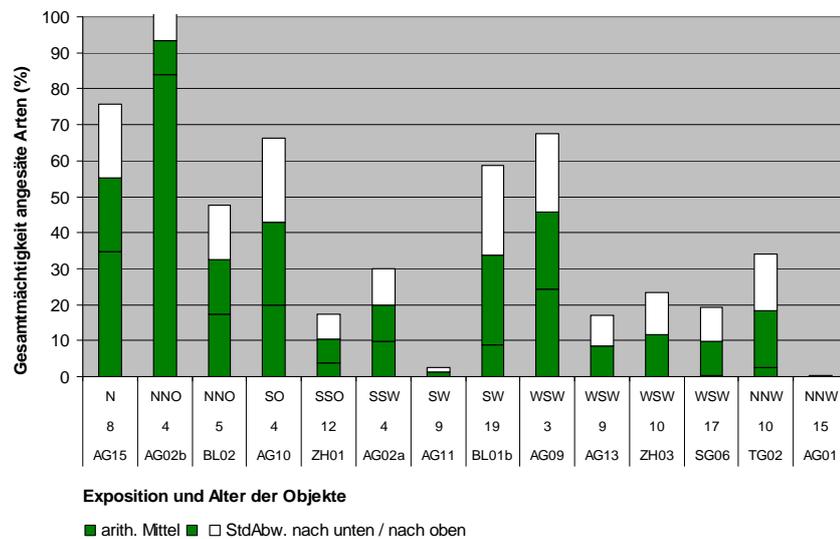


Abb. 5.54 Gesamtmächtigkeit der angesäten Arten nach Exposition und Alter der Objekte

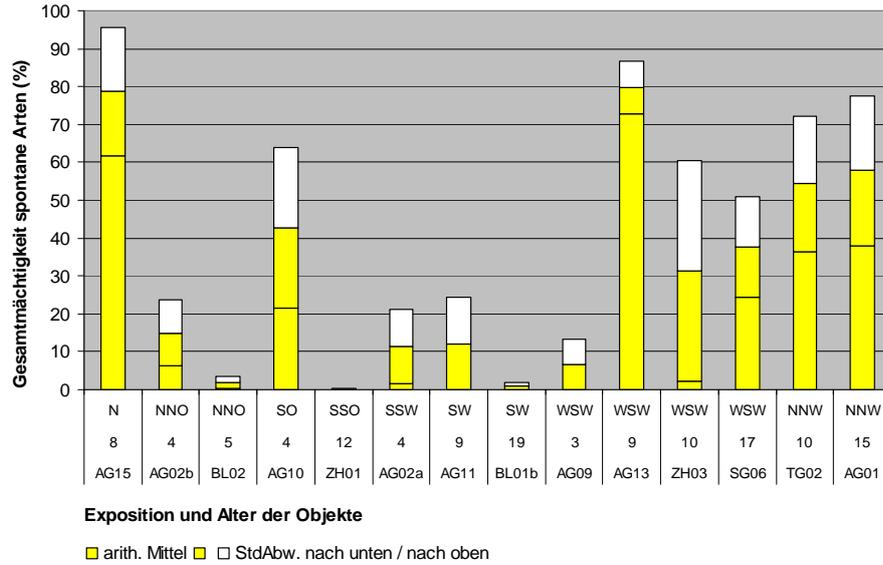


Abb. 5.55 Gesamtmächtigkeit der spontanen Arten nach Exposition und Alter der Objekte

Da vermutet wird, dass die Standortbedingungen an Wällen schwieriger sind als an Hangvorschüttungen, werden die Artmächtigkeiten für die beiden Objekttypen getrennt analysiert. Die Varianz der Gesamtmächtigkeiten scheint an Vorschüttungen kleiner als an Wällen und auch die schon beobachtete Tendenz, dass mit zunehmendem Alter die spontanen Arten mehr Raum einnehmen, ist an Vorschüttungen deutlicher erkennbar (siehe Abb. 5.57). An Wällen hingegen scheinen die Bedingungen viel inhomogener, sodass sich keine Tendenzen bezüglich Alter oder Exposition andeuten.

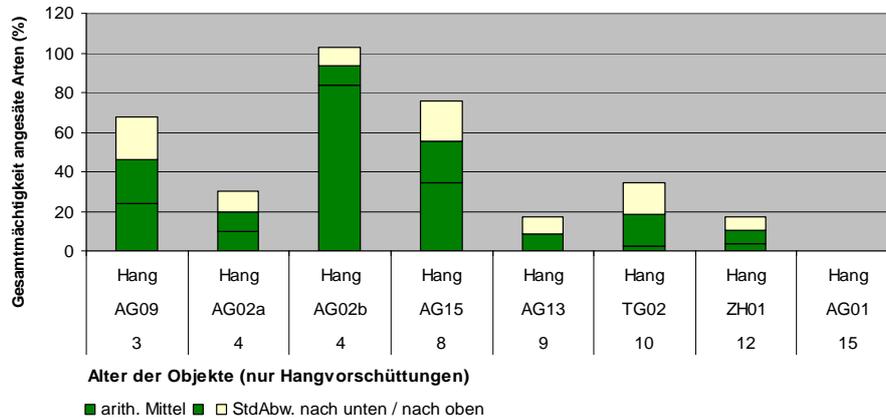


Abb. 5.56 Gesamtmächtigkeit der angesäten Arten an Hangvorschüttungen nach Alter der Objekte

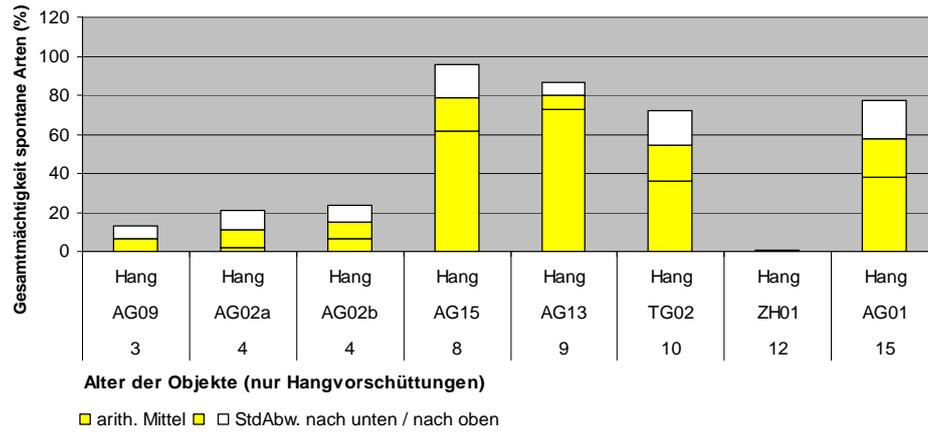


Abb. 5.57 Gesamtmächtigkeit der spontanen Arten an Hangvorschüttungen nach Alter der Objekte

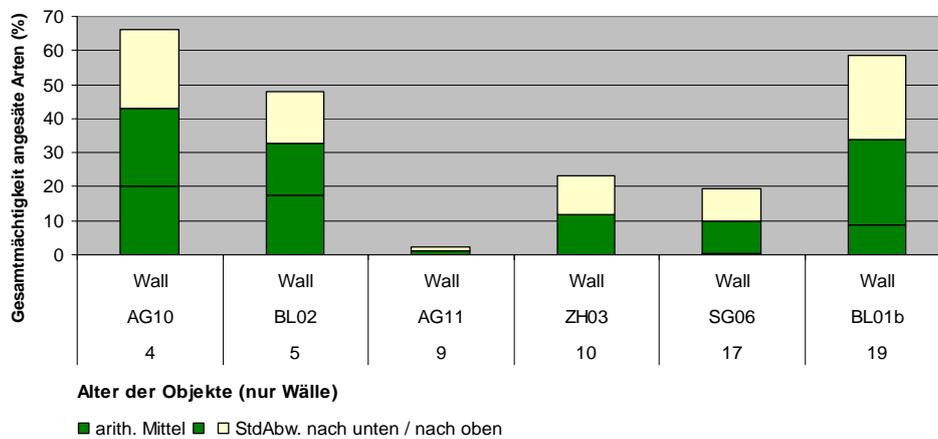


Abb. 5.58 Gesamtmächtigkeit der angesäten Arten an Wällen nach Alter der Objekte

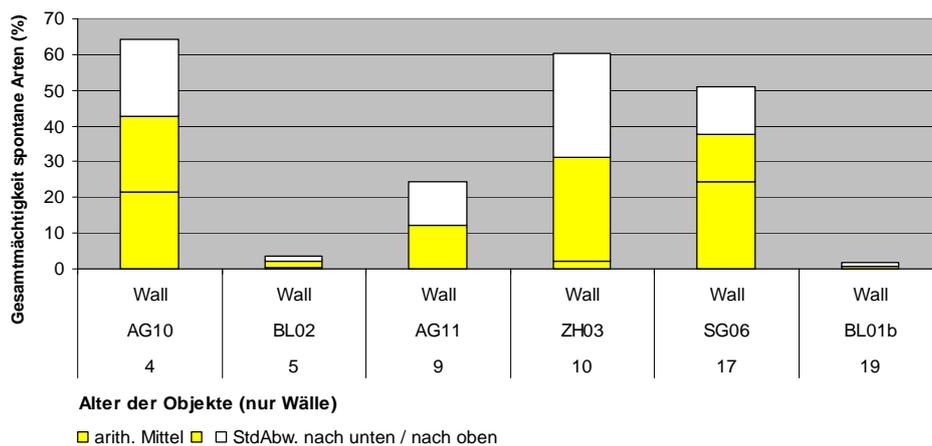


Abb. 5.59 Gesamtmächtigkeit der spontanen Arten an Wällen nach Alter der Objekte

Gesamtabundanz

Die Gesamtabundanz ist ein Mass für die Besetzung der Fläche mit Pflanzen resp. ihren Lebensformen (Moose, Farne, Gräser, Kräuter, Holzige). Da sie ausschliesslich in der Bodenschicht erhoben und mit dem Zählrahmen quantitativ erfasst wird, sind ihre Werte mit weniger Fehlern behaftet als die reinen Schätzwerte der Artmächtigkeit und der Gesamtdeckung.

Wenn nun als Deckungsmass die Gesamtabundanz gewählt wird, so resultiert für die sechs untersuchten Objekte eine Deckung von durchschnittlich 47.1% mit einer grossen Standardabweichung von 19.7% (siehe Abb. 5.60, mittlere Spalten). Durchschnittlich wäre etwa die Hälfte der Böschungsfläche mit Pflanzen bewachsen, die andere Hälfte läge ohne Bewuchs offen.

Abb. 5.60 Gesamtabundanz und Gesamtdeckung der Vegetation in den untersuchten Stützgitterböschungen

Objekt	Aufnahmen	Gesamtabundanz in %			Gesamtdeckung in %		
		Mittelwert	Median	StdAbw.	Mittelwert	Median	StdAbw.
AG-01	10	66.2	65.0	11.8	82.9	90	12.5
AG-02a	4	-	-	-	28.8	30.0	2.5
AG-02b	4	-	-	-	96.3	95.0	2.5
AG-09	6	-	-	-	51.7	50.0	17.2
AG-10	8	-	-	-	83.8	80.0	9.2
AG-11	10	24.2	22.5	6.6	47.0	40.0	20.6
AG-13	3	-	-	-	66.7	70.0	25.2
AG-15	5	-	-	-	100.0	100.0	100.0
BL-01	7	-	-	-	31.4	30.0	9.0
BL-02	10	47.3	46.5	7.3	80.0	82.5	10.3
SG-06	8	-	-	-	51.3	55.0	20.3
TG-02	6	67.7	68.5	8.8	98.3	100.0	4.1
ZH-01	10	32.4	34.0	3.8	44.0	40.0	20.1
ZH-03	10	57.0	53.0	17.3	76.5	80.0	13.8
Gesamtabundanz alle	46	47.1	45.0	19.7	-	-	-
Gesamtdeckung alle	45	-	-	-	65.9	70.00	26.2

Der Vergleich mit den Referenzobjekten zeigt, dass in einer normal geneigten, ebenfalls trockenen Wiesenböschung (XX-01, magere Fettwiese) deutlich höhere Deckungswerte erreicht werden (siehe Abb. 5.61). Das Referenzobjekt XX-02 hingegen ist ausserordentlich trocken und gleicht bezüglich Deckung dem Objekt ZH-01.

Abb. 5.61 Gesamtabundanz und Gesamtdeckung in den Referenzobjekten

Objekt	Aufnahmen	Gesamtabundanz in % (Messung mit Zählrahmen)			Gesamtdeckung in % (Schätzung)		
		Mittelwert	Median	StAbw.	Mittelwert	Median	StAbw.
XX-01	5	74.6	74.0	6.3	90.0	95.0	14.1
XX-02	6	37.0	36.5	8.1	46.7	45.0	8.2
alle Aufnahmen	11	54.1	47.0	20.8	64.0	55.00	24.6

5.3.3 Abundanz der Lebensformen

Gesamtabundanz

Wenn die Gesamtabundanzen in Abhängigkeit der Exposition geordnet werden (siehe Abb. 5.62), zeigt sich wie bei den geschätzten Gesamtdeckungen ihre Abhängigkeit von der Himmelsrichtung. Den höchsten Bewuchs mit Pflanzen finden wir auf schattigen Stützgitterböschungen, den niedersten bei voller Besonnung.

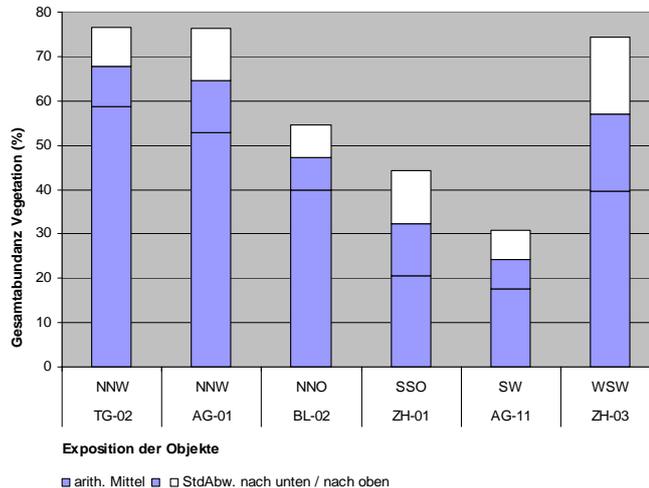


Abb. 5.62 Gesamtabundanz der Vegetation nach Exposition (summierte Abundanzen der Moose, Farne, Gräser und Kräuter)

Einzelne Lebensformen

Die Gesamtabundanz setzt sich zusammen aus den Einzelabundanzen von Moosen, Farnen, Gräsern, Kräutern und Holzgewächsen. Abb. 5.63 zeigt ihre Anteile in den Aufnahmen, die nach Himmelsrichtungen gruppiert sind. Durchwegs klein ist der Anteil der Kräuter; der Anteil der Holzgewächse ist im Schnitt verschwindend und nicht aufgetragen. Überall markant ist der Anteil der Gräser und besonders auffällig der Anteil der Moose und Farne. Sie dominieren an schattigen und vermutlich beregneten Lagen (WSW – NNO), während sie mit zunehmender Sonnenexposition zurücktreten. Werden die Moos- und Farnanteile bei den summierten Abundanzen weggelassen (siehe Abb. 5.64), also nur die addierten Abundanzen der Gräser und Kräuter in Abhängigkeit der Exposition aufgetragen, erscheinen schwankende Werte, die jedoch keinen Zusammenhang mit der Himmelsrichtung zeigen. Die durchschnittliche Gesamtabundanz der Sprosspflanzen aller untersuchten Objekte beträgt 29.8% +/- 7.5%. Es scheint also, dass die sowohl mit den geschätzten Gesamtdeckungen als auch mit den gemessenen Abundanzen gezeigte Abhängigkeit der Vegetationsdecke von der Himmelsrichtung nur dem Verhalten der Moose und Farne geschuldet ist. Das würde bedeuten, dass in allen Expositionen die Deckung mit Sprosspflanzen (Gräser, Kräuter, Holzgewächse) um etwa 30% pendelt, während in feuchten Lagen die angeflogenen Sporen von Moosen und Farnen keimen, die offenen Bereiche der Steilböschungen – überall gut 50% – besetzen und sich dort ausbreiten können. Die gute Vegetationsdeckung der Objekte schattiger Lagen wäre also nur den Moosen und Farnen zu verdanken.

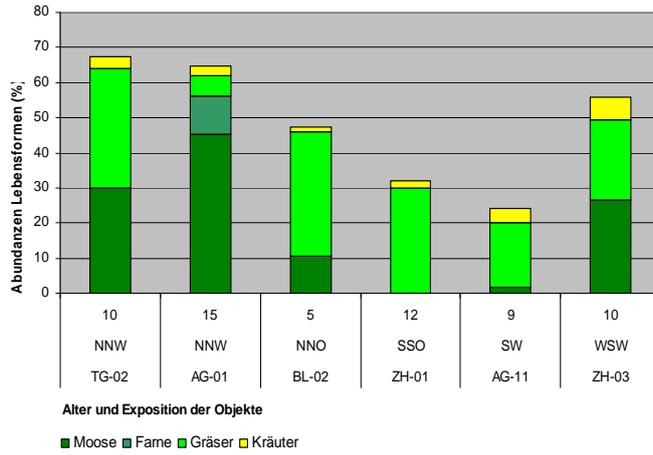
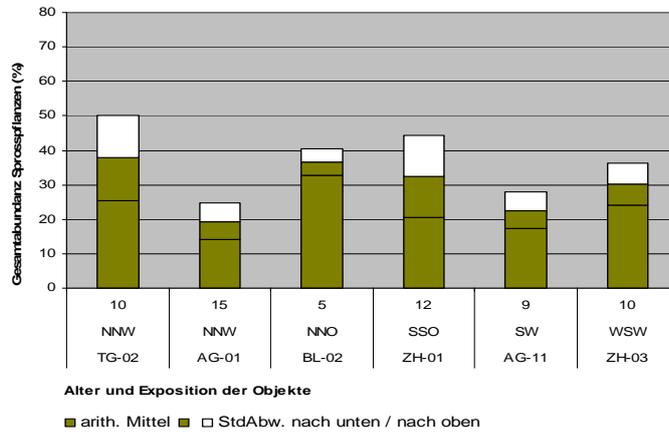


Abb. 5.63 Summierte arith. Mittel der Abundanzen der einzelnen Lebensformen nach Exposition



Mittelwert aller Objekte 29.8%, Standardabweichung 7.5%

Abb. 5.64 Gesamtabundanz der Sprosspflanzen (Abundanzen der Lebensformen ohne Moose) nach Exposition

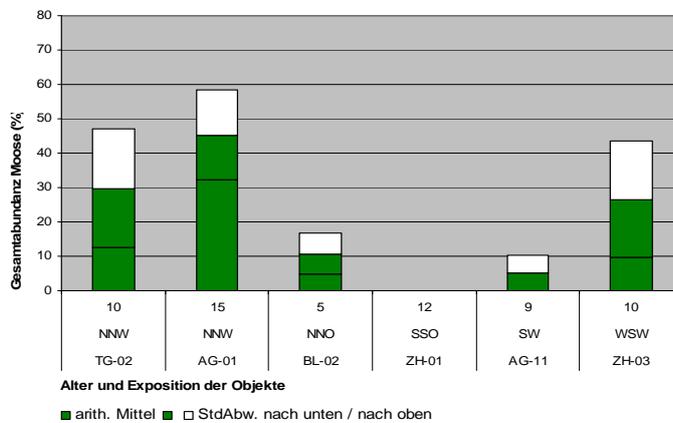


Abb. 5.65 Gesamtabundanz der Moose nach Exposition.

5.4 Standorteigenschaften

Die Standorteigenschaften der Objekte bezüglich ihres Substrats werden mittels der Zeigerwerte der vorkommenden Pflanzen (Landolt 1977) abgebildet. Die Ergebnisse für alle untersuchten Objekte finden sich in Abb. 5.66.

Abb. 5.66 Mittlere, nach Artmächtigkeit gewichtete Zeigerwerte der Vegetation für F, R, N und H in allen untersuchten Objekten

Objekt	Aufnahmen	Feuchtezahl F			Reaktionszahl R		
		arith. Mittel	StAbw.	Median	arith. Mittel	StAbw.	Median
AG-01	10	3.02	0.03	3.01	3.16	0.29	3.06
AG-02a	4	2.56	0.24	2.53	3.34	0.20	3.35
AG-02b	4	2.95	0.11	2.99	3.05	0.08	3.02
AG-09	6	2.20	0.24	2.28	3.20	0.28	3.04
AG-10	8	3.10	0.19	3.04	3.02	0.02	3.01
AG-11	10	2.62	0.39	2.71	3.36	0.37	3.29
AG-13	3	3.31	0.12	3.37	3.08	0.07	3.06
AG-15	5	2.84	0.09	2.86	3.02	0.01	3.02
BL-01	7	1.89	0.14	1.88	3.54	0.23	3.49
BL-02	10	2.90	0.11	2.95	3.09	0.11	3.05
SG-06	8	3.19	0.34	3.25	3.04	0.04	3.03
TG-02	6	3.48	0.30	3.64	3.05	0.10	3.00
ZH-01	10	1.94	0.17	1.99	3.85	0.24	3.97
ZH-03	10	2.63	0.53	2.85	3.09	0.26	3.00
alle Objekte	101	2.72	0.53	2.94	3.23	0.32	3.05
XX-01	5	2.07	0.06	2.04	3.68	0.22	3.64
XX-02	6	2.10	0.21	2.01	3.90	0.21	3.99
alle Ref-Aufnahmen	11	2.08	0.16	2.01	3.80	0.24	3.96
Objekt	Aufnahmen	Nährstoffzahl N			Humuszahl H		
AG-01	10	3.51	0.40	3.52	3.42	0.41	3.20
AG-02a	4	3.28	0.38	3.21	2.87	0.25	2.99
AG-02b	4	3.03	0.05	3.03	2.98	0.05	3.00
AG-09	6	2.97	0.22	2.98	2.96	0.09	3.00
AG-10	8	3.44	0.24	3.41	2.92	0.13	2.87
AG-11	10	3.25	0.75	3.36	2.89	0.17	2.96
AG-13	3	3.47	0.26	3.61	3.19	0.13	3.16
AG-15	5	3.03	0.32	3.03	3.22	0.16	3.12
BL-01	7	2.22	0.31	2.07	2.99	0.02	3.00
BL-02	10	2.92	0.11	2.96	3.00	0.01	3.00
SG-06	8	3.38	0.14	3.40	2.91	0.24	3.00
TG-02	6	3.22	0.16	3.22	3.04	0.09	3.00
ZH-01	10	2.11	0.26	2.01	3.00	0.00	3.00
ZH-03	10	3.19	0.56	3.08	2.93	0.24	3.00
alle Objekte	101	3.05	0.57	3.06	3.02	0.24	3.00
XX-01	5	2.33	0.22	2.42	3.00	0.00	3.00
XX-02	6	2.19	0.43	2.01	3.00	0.00	3.00
alle Ref-Objekte	11	2.25	0.35	2.09	3.00	0.00	3.00

Eine Übersicht über die Durchschnittswerte aller Objekte für Feuchte, Reaktion und Nährstoffe sowohl der Vergleich mit den in die Übersicht einbezogenen Referenzobjekten zeigt Abb. 5.67.

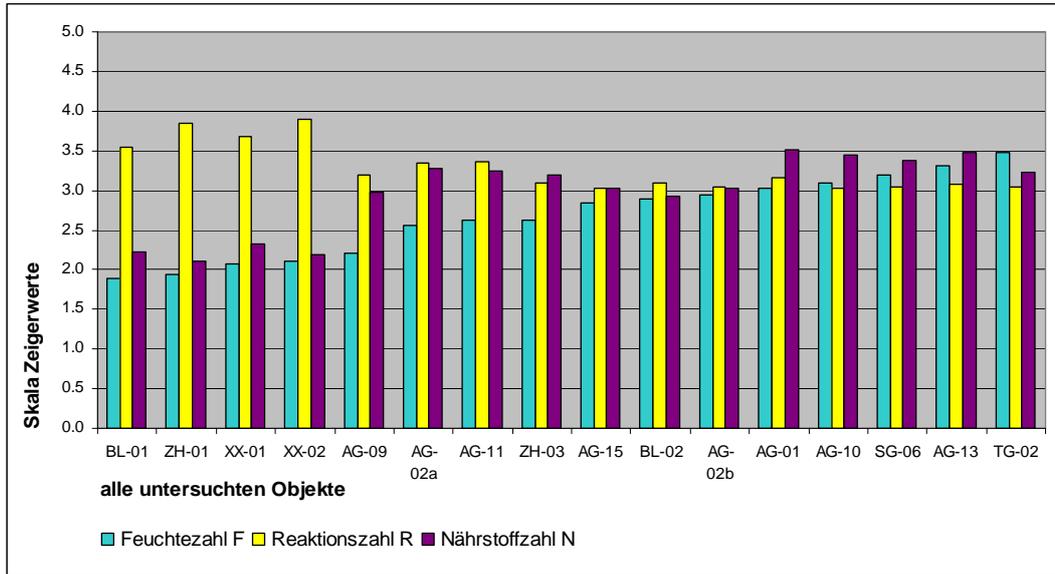


Abb. 5.67 Arith. Mittel der Zeigerwerte F, R und N aller Vegetationsaufnahmen pro Objekt, nach F geordnet. XX-01 und XX-02 normale Böschungen, alle anderen Stützgitterböschungen

Im Hinblick auf die Durchschnittswerte und das Verhältnis der drei Zeigerwerte zueinander deuten sich unter den 16 Objekten vier Gruppen an:

Abb. 5.68 Grobe Gruppierung der untersuchten Objekte nach ihren Zeigerwerten für F, R und N

Gruppe	Objekte	Beschreibung
1	BL-01 ZH-01 XX-01 XX-02	Standorte mit mässiger Trockenheit (F ~ 2.0), schwach basischen bis basenreichen Substraten (R ~ 3.5) und wenig Nährstoffen (N ~ 2.25). Bedingungen in Stützgitterböschungen (BL-02, ZH-01) ganz ähnlich wie in normalen Böschungen (XX-01, XX-02)
2	AG-09 AG-02a AG-11 ZH-03	Standorte mit geringer Trockenheit (F ~ 2.5), schwach sauren Substraten (R ~ 3.0) und mässiger Nährstoffversorgung (N ~ 3.00)
3	AG-15 BL-02 AG-02b	Standorte mit generell ausgeglichenen Bedingungen: Mässig feucht (F ~ 3.0), schwach sauer (R ~ 3.0) und mässig mit Nährstoffen versorgt (N ~ 3.0)
4	AG-01 AG-10 SG-06 AG-13 TG-02	Standorte mit guter Wasser- und Nährstoffversorgung: Frische Böden (F > 3.0), schwach basische bis basenreiche Substrate (R ~ 3.0) und gut versorgt mit Nährstoffen (N ~ 3.5).

Die Mehrheit der Objekte (Gruppen 2 - 4) ist gemäss Zeigerwerten genügend mit Nährstoffen versorgt. Nährstoffarm sind nur die beiden Objekte BL-01 und ZH-01 in Gruppe 1. Diese sind gleichzeitig am trockensten, was die Verfügbarkeit der Nährstoffe einschränkt. Die besten Bedingungen für den Pflanzenwuchs herrschen in Gruppe 4, wo gute Wasser- und gute Nährstoffversorgung zusammenfallen.

5.5 Lebensraum für Tiere

5.5.1 Schnecken

Auf Schnecken mit Häuschen wurde an den untersuchten Objekten nicht geachtet. Hier sei nur auf eine Art verwiesen, die am Objekt AG-06 angetroffen wurde. Es handelt sich um die Gemeine Heideschnecke / *Helicella itala*, deren Verhalten als Indikator heisser Standorte gilt. Sie fällt insbesondere am Nachmittag heisser Sommertage auf, wenn sie dem aufgeheizten Boden entflieht und zuoberst auf dünnen Stengeln ausharrt, bis es Abend wird und sie auf ihre nun wieder kühleren Weidegründe zurückkriechen kann.



Abb. 5.69 Gemeine Heideschnecke
Heideschnecken in einer heissen Steinbruchböschung, aber auch am Objekt AG-06 vorkommend (05.09.2009/BST)



Abb. 5.70: Zauneidechse
In einer nicht bewachsenen Lücke der Steilböschung ZH-03 sonnt sich ein zur Paarungszeit besonders prächtig gefärbtes Männchen der Zauneidechse (28.04.2011/BST)

5.5.2 Eidechsen

Eidechsen wurden nur am Objekt ZH-03 beobachtet, einem WSW-exponierten Lärmschutzwall (siehe Abb. 5.70). Ein entscheidender Grund für die Besiedlung dürfte sein, dass hinter dem Steilwall das Trasse der SBB verläuft, bekanntlich ein geeigneter Korridor für die Ausbreitung der Reptilien.

5.5.3 Mäuse

Mäuse gehören zu den liebsten Bewohnern von Stützgitterböschungen. Hier leben sie trocken und warm und völlig geschützt von Frassfeinden wie Greifvögel, Füchse oder Katzen. Höchstens klettergewohnte Wiesel könnten ihnen zu Leibe rücken. Mäuse verursachen empfindliche Schäden an Stützgitterböschungen. Ihre Frasslöcher schädigen das Front-Geotextil, die Gänge minieren den Erdkörper, verstärken seine Austrocknung und ihr Nagen bringt insbesondere Gehölzpflanzen (siehe Abb. 5.75) zum Absterben.

Mäuselöcher mit Schäden im Front-Geotextil wurden an mehr als der Hälfte der untersuchten Objekte (8 von 14) registriert. Besonders betroffen sind die mit Stützgittern versehenen Lärmschutz-Steilwälle. An den Objekten SG-06 und BL-01 wurden sie gemäss Auskunft der Unterhaltsdienste lange, schliesslich vergeblich bekämpft, am Objekt AG-06 wird nach wie vor gegen sie vorgegangen (siehe Abb. 5.76).



Abb. 5.71: Mäuseschäden I
Horizontaler Mäusegang mit Auswürflöchern für das gegrabene Material (AG-11, 14.10.2008/BST)



Abb. 5.72: Mäuseschäden II
In einem Stoss der Stützgitterelemente haben die Mäuse eine Galerie ausgeräumt (BL-02, 27.04.2011/BST)



Abb. 5.73: Mäuseschäden III
Das Frontgewebe ist durchgebissen (BL-02, 27.04.2011/BST)



Abb. 5.74: Mäuseschäden IV
Das ausgeschobene Material bleibt an unten wachsenden Grashorsten hängen (AG-11, 14.10.2008/BST)



Abb. 5.75: Mäuseschäden V
90% Ausfall beim Perückenstrauch: Er ist besonders vom Frass an Wurzeln und Stockbasis betroffen (AG-06, 12.08.2010/BST)



Abb. 5.76: Mäuseschäden VI
Die Mäuselöcher werden mit einem Giftköder bestückt und wieder verschlossen (AG-06, 12.08.2010/BS)

6 Ergebnisse und Folgerungen

6.1 Vegetation an Stützgitterböschungen

Anzahl Arten

An den untersuchten Stützgitterböschungen, die zwischen 3 und 19 Jahren alt sind, wurden durchschnittlich 16 Arten festgestellt. Eine viel höhere Artenzahl, nämlich durchschnittlich 26.7 Arten stellte Artmann in Herold, Hoy & Artmann (2000) an neun Stützgitterböschungen fest. Allerdings ist nicht ersichtlich, wie alt jene Steilböschungen waren. Die Beobachtung von Skirde (1978), dass an süd- und westexponierten Strassenböschungen die Artenzahl nach 3 - 9 Jahren insgesamt höher war als an Nord- und Ost-Expositionen, bestätigt sich an Stützgitterböschungen nicht. Auf nur schwach geneigten, vor Jahren ebenfalls angesäten trockenen Böschungen, die vor allem mit Schafschwingel bewachsen waren, zählte Rattay-Prade (1988) 17 Arten. Nur unbedeutend mehr Arten (mittlere Artenzahl 18.4) wurden in halbruderalen Halbtrockenrasen an steilen, gemähten Lössböschungen festgestellt (Rattay-Prade 1988, Abb. 11). Die Untersuchungen von Krause (1989) an sieben angesäten Autobahnböschungen in Ost- und Westexposition ergaben, dass nach 4 Jahren durchschnittlich 11 Arten, nach 20 Jahren durchschnittliche 15 Arten vorhanden waren. Ebenfalls auf angesäten Autobahnböschungen zählte man nach vier Jahren 9-14 Arten, nach neun Jahren 10-15 Arten (Skirde 1978). Ullmann & Heindl (1986) fanden auf 9 – 10 jährigen sonnigen Strassenböschungen, die jedoch nicht angesät waren, 19 – 26 Arten. Eine markant höhere Artenzahl hingegen registrierte Klein (1980); er ermittelte auf SO- bis SW-exponierten Autobahnböschungen die erstaunlich hohe Zahl von durchschnittlich 39.8 Arten. Die Artenzahl an angesäten Stützgitterböschungen ist deutlich geringer, liegt aber immer noch im Rahmen dessen, was an angesäten und regelmässig gemähten Strassenböschungen erwartet werden kann.

Zusammensetzung der Arten

Die Artenzusammensetzung der untersuchten Stützgitterböschungen ist ausserordentlich variabel. Das ist auch an normal geneigten Autobahnböschungen so, wie Klein (1980) resümiert. Er führt diese grosse Variabilität auf das junge Alter der Standorte und die geschütteten Substrate - keine natürlich gewachsenen Böden - zurück. Weiter stellen Stottele & Sollmann (1992) fest, dass die Beziehungen zwischen Strassenrand- und Gebietsflora sehr ausgeprägt sind. Obwohl die untersuchten Stützgitterböschungen wie alle Strassenböschungen eher wenigen Arten Lebensraum bieten, haben sich auch hier besondere Arten der umgebenden Gebietsflora eingefunden: Hirschzunge am Bahndamm AG-01, Berg-Ehrenpreis an der Steilböschung AG-13, Wiesen-Storchnabel am Lärmschutzdamm SG-06. Der Austausch mit der Umgebung wird stark begünstigt durch die langen Grenzlinien, über die Strassenrandflächen mit fast allen Lebensräumen der umgebenden Landschaften in Verbindung stehen und randlich beeinflusst werden (Stottele & Sollmann 1992). Was Stützgitterböschungen von den anderen Strassenböschungen unterscheidet, ist der eingeschränkte "Verkehr" über die langen Kontaktlinien hinweg: Die meisten Tiere, welche sonst unbeabsichtigt Samen verbreiten, sind wegen der extremen Steilheit ausgeschlossen und auch die Samen im Kot von Vögeln bleiben wegen der Steilheit weniger liegen. So verwundert insgesamt nicht, dass von 82 spontan an Stützgitterböschungen registrierten Arten 60 Arten mit dem Wind gekommen sind.

Von den 148 registrierten Pflanzenarten sind nur zwei Arten geschützt oder gelten als gefährdet. Auch Stottele & Sollmann (1992) stellen fest, dass an Strassenbegleitflächen der Anteil gefährdeter Arten, gemessen an der Artenzahl, äusserst gering ist. Von wenigen Ausnahmen abgesehen würden diese unter Naturschutz-Gesichtspunkten hoch bewerteten Pflanzen nur zufällig und in wenigen Exemplaren am Strassenrand wachsen. Auch von den "gewöhnlichen" Arten sind sehr viele zufällig: Nur 22 % aller Arten kommen in mehr als 10% der Aufnahmen vor; alle 115 andern Arten zeigen eine geringere Stetigkeit oder kommen nur einmal vor. Gemäss Stottele & Sollmann (1992) ist das kennzeichnend für den Strassenrandbewuchs: Eine grosse Zahl sporadisch vor-

kommender Arten einerseits und eine kleine Gruppe von allgegenwärtigen Kulturbegleitern mit breiter Standorttoleranz, starker Konkurrenzkraft und grosser Ausbreitungsfähigkeit andererseits. Dazu gehören gemäss Stottele & Sollmann (1992) *Agropyron repens*, *Festuca rubra*, *Trifolium repens*, *Achillea millefolium*, *Cirsium arvense*, *Dactylis glomerata*, *Plantago lanceolata*, *Poa pratensis* und *P. angustifolia*, *Arrhenatherum elatius*, *Convolvulus arvensis* und in Südwestdeutschland *Geranium pratense*. Es sind alles Arten, die auch an den Stützgitterböschungen weit verbreitet sind. Den sehr hohen Anteil an Unkraut- und Ruderalarten an angesäten Autobahnböschungen zeigte schon Klein (1980) und verwies auf gleichlautende Ergebnisse aus England, Dänemark und Schweden. Auch Wegelin (1984) stellte an begrünten Autobahnböschungen in der Nordostschweiz fest, dass drei Jahre nach der Ansaat die spontan eingewanderten Arten *Agropyron repens*, *Galium album* und *Arrhenatherum elatius* schon nennenswerte Flächenanteile einnahmen.

Gesellschaften

An Strassenbegleitflächen in Südwestdeutschland zeigte sich, dass Gesellschaften nährstoffreicher Standorte überwiegen, Gesellschaften magerer Standorte selten sind (Rattay-Prade 1988). Das gilt im Wesentlichen auch für die untersuchten Stützgitterböschungen. Gemäss den Zeigerwerten (siehe Abb. 5.60) erweisen sich nur zwei von 14 Objekten als mager und mageren Böschungswiesen ähnlich; die andern sind zwar nicht fett, aber doch ausreichend mit Nährstoffen und Wasser versorgt. Aufgrund der Standortbedingungen und der angetroffenen Arten wird die Vegetation der Mehrheit der Objekte deshalb als Ausprägungen halbruderaler Halbtrockenrasen - auch Queckenrasen genannt - verstanden. Ähnliche Rasen beschrieb Rattay-Prade (1988) an gemähten Lössböschungen, wo *Agropyron repens*, *Poa angustifolia*, *Convolvulus arvensis*, *Medicago sativa*, *Brachypodium pinnatum*, *Calystegia sepium* und *Equisetum arvense* charakteristisch sind. Auch Ullmann & Heindl (1986) kommen zum Schluss, dass an Strassenböschungen die "klassischen" Halbtrockenrasen durch halbruderaler Queckenrasen ersetzt werden. Neben solchen Rasen kann ein kleinerer Teil der begrünten Stützgitterböschungen als Saumgesellschaften angesprochen werden. Bezeichnend ist nicht in erster Linie ihre Lage entlang resp. unterhalb von Gehölzen (AG-13, AG-15, SG-06, ZH-01), sondern die Präsenz von jungen Gehölzen und typischen Saumarten (Fiederzwenke, Wald-Zwenke, Nelkenwurz, Gundelrebe, Ruprechtskraut). Saumarten weisen auf lückige Grasnarben und geringe Schnitthäufigkeit hin. Zu den Saumarten gehört auch die Brennnessel, die an den Stützgitterböschung recht häufig vorkommt (Stetigkeit 16.5%) und die auch Müller (2000) erwähnt. Analoge Entwicklungen beschreibt auch Klein (1980) an Autobahnböschungen, die zwischen fünf und elf Jahren alt sind. Während die Ähnlichkeiten der angesäten Vegetationsbestände zu Magerrasen und zu Fettwiesen mit der Zeit abnehmen, nehmen umgekehrt ihre Ähnlichkeiten zu Saumgesellschaften leicht und zu Unkraut- und Ruderalfluren stark zu.

Entwicklung der angesäten Arten

Auf Strassenbegleitflächen in Südwestdeutschland wurde festgestellt, dass die angesäten Arten schon nach 2-3 Jahren nicht mehr bestandesbildend waren. Letztlich würden zugewanderte Arten die Vegetation aufbauen (Rattay-Prade 1988). Der Rückgang der angesäten Arten zeigte sich andernorts vor allem an den süd- und westexponierten Strassenböschungen, wo ihr Anteil nach 3-9 Jahren auf nur noch 5-15% abgesunken war (Skirde 1978). Der gleiche Prozess deutet sich auch an den Stützgitterböschungen an: Die angesäten Arten decken mit der Zeit immer weniger Fläche (Abb. 5.54), die spontanen Arten legen zu (Abb. 5.55). Da diese in der grossen Mehrheit ruderalen Gesellschaften entstammen, werden die ursprünglich als Rasen gedachten Böschungflächen in halbruderaler Vegetationsausprägungen umgewandelt. Dass insbesondere an extremen Standorten angesäte Arten durch einheimische eingewanderte Arten verdrängt werden, stellten auch Trautmann & Lohmeyer sowie Wegelin fest (Trautmann & Lohmeyer 1975, Wegelin 1979 in Klein 1980). Eine schnelle Umwandlung der angesäten Bestände wurde auch an anderen Steilböschungen beobachtet (Herold, Hoy & Artmann 2000).

Die am meisten vertretene Art unter den angesäten Gräsern ist *Festuca rubra* / Rotschwingel. Er kommt in 65% der Aufnahmen vor. Die höchsten Deckungswerte (Artmächtigkeit) bei den älteren Objekten zeigt der Rotschwingel an eher schattigen

Standorten (BL02, TG-02, AG-15, AG-02b); an vollsonnigen Standorte ist er kaum mehr vertreten. Das deckt sich mit den Beobachtungen von Skirde (1978). *Festuca rubra* dominiert nach 3-9 Jahren auf nord- und ostgerichteten Böschungen, auf den gegenüberliegenden Neigungsflächen nimmt er jedoch zugunsten anderer Arten ab. Diese Abnahme nach einer zügigen Anfangsentwicklung wird positiv beurteilt, da sie das Einwandern neuer, standortgerechter Arten ermöglicht (Molder 1995).

Deckung

Die geschätzte durchschnittliche Gesamtdeckung aller untersuchten Objekte beträgt ca. 66% bei einer sehr grossen Streuung. Auf ebenfalls angesäten, aber nur schwach geneigten Strassenböschungen in Baden-Württemberg notierte Rattay-Prade (1988) eine Deckung von 70%. Sind die Böschungen stärker geneigt und zudem sonnig, reduziert sich die Deckung: Ullmann & Heindl (1986) bestimmten in Mainfranken auf 9 - 10-jährigen Strassenböschungen bei Neigungen von 25 - 40° Deckungswerte von bloss 30%. Auf angesäten Autobahnböschungen unterschiedlichen Alters wurden bei 3 - 4-jährigen südexponierten Böschungen eine Deckung von 22 - 43%, bei 9-jährigen in Süd- und Westexposition eine Deckung von 78 - 84% ermittelt (Skirde 1978, Darst. 12). In Nordexposition bedeckte die Vegetation der Strassenböschungen nach 3 - 4 Jahren 70 - 86%, in Ostexposition nach 7 - 9 Jahren 33 - 49% der Probeflächen. Grob gemittelt ergäbe das 50.6 - 65.5%, was ungefähr der durchschnittlichen Gesamtdeckung der untersuchten Stützgitterböschungen entspricht. Wegelin (1984) stellte auf sonnigen, normal geneigten, humusierten und angesäten Strassenböschungen in Wagenhausen und Hemishofen nach drei Jahren für die Gräser eine Deckung von 33.5 - 48.5%, für die Leguminosen von 6.4 - 45.1% und für die übrigen Kräuter eine Deckung von 2.1 - 27.6% fest. Eine insgesamt lückige Vegetationsdecke registriert auch Klein (1980) an seinen untersuchten Autobahnböschungen; er sieht diese Lückigkeit als Hauptursache für die starken Schwankungen in Artenanzahl und Artmächtigkeit. Aus 66 Aufnahmen von Autobahnböschungen, die mit unterschiedlichen Mischungen (KTZ, VSS II, VSS A) angesät wurden und verschieden alt waren, resultierte in einer 5-jährigen Beobachtungsperiode eine durchschnittliche Gesamtdeckung von 64.6%, wobei im ersten Jahr der Beobachtung 70.2% Gesamtdeckung, im dritten Jahr 58.0% und im fünften Jahr 68.6% Gesamtdeckung ermittelt wurden (Auswertung der Vegetationstabelle in Klein 1980). Die Gesamtdeckung an den untersuchten Stützgitterböschungen von durchschnittlich 66% entspricht also der Deckung, die an normal geneigten und künstlich angelegten Autobahnböschungen beobachtet wurde. Höhere Deckungswerte, wie sie etwa die Werbefotos von ganz jungen begrünten Stützgitterböschungen suggerieren, sind somit unrealistisch.

Die von Klein (1980) untersuchten Autobahnböschungen sind alle sonnig gelegen. Anders die untersuchten Stützgitterböschungen. Die Deckung ihrer Vegetation erweist sich als expositionsabhängig: Sonnig gelegene Objekte sind deutlicher geringer mit Vegetation bedeckt als schattige (siehe Abb. 5.50). Auch die Gesamtabundanz, die unabhängig von der Schätzung der Gesamtdeckung mit dem Zählrahmen gemessen wurde, zeigt die Abhängigkeit der Deckung von der Exposition. Unterschiedliche Begrünerfolge in Abhängigkeit der Exposition zeigten sich auch auf den Steilböschungen in Sachsen (Herold, Hoy & Artmann 2000). Dabei sind es in erster Linie die Moose, die an schattigeren Objekten wesentliche Flächenanteile, bei unseren Stützgitterböschungen etwa 28%, einnehmen. Wegelin (1984) stellt nach drei Jahren fest, dass die Moose überall vorhanden sind und Deckungen von 4.8 - 7.8% aufweisen. Skirde (1978) findet in Nordexposition auf 3 - 4-jährigen Ansaatflächen 18 - 37% Moose, in Ostexposition nach 7 - 9 Jahren 1 - 6% Moose, aber auch in Süd- und Westexposition 5 - 10% Moose. Wird an Stützgitterböschungen nur der Besatz mit Sprosspflanzen ermittelt, so pendelt dieser auf allen untersuchten Objekten unabhängig von der Exposition etwa um 30%, nämlich bei 29.8 +/-7.5% Gesamtabundanz.

Gemäss dem vorliegenden Screening von 39 Stützgitterböschungen muss die Vegetation der Front bei 36% der Objekte als eher schlecht bis durchweg schlecht beurteilt werden. Dass die Deckung der Vegetation an Steilböschungen vielfach mangelhaft ist, wurde schon mehrmals festgestellt. Eine der ältesten geotextilbewehrten Stützwände in Europa, 1981 - 1982 mit hochfestem Polyestergewebe und lokalem Boden gebaut, ist noch in sehr gutem Zustand, aber die Außenhaut präsentiert sich "de facto nackt"; die

Vegetation ist praktisch vollständig verschwunden (Risseeuw & Dimitier 2001). An untersuchten Steilböschungen in Sachsen war vielfach keine flächendeckende Begrünung vorhanden und in niederschlagsarmen Perioden vertrockneten die nur mit Rasen bewachsenen Oberflächen (Herold, Hoy & Artmann 2000). Lachat (2005) zeigt Beispiele von Stützgitterböschungen mit Deckungen von weniger als 30%. Nach fünf Jahren sei die Vegetation nicht entwickelt und die Stützkonstruktion immer sichtbar. Auf der Homepage des Kantons Wallis zum Bau der A9 wurde unter dem Stichwort Lärmschutzmassnahmen festgehalten, dass die gebaute Textomurböschung wohl grün erscheine, aber auf Grund ihres Aufbaus ein schlechter Standort für Flora und Fauna sei. Im trockenen Walliser Klima seien die an der Oberfläche liegenden Gitternetze sichtbar (Kanton Wallis 2008). Und in einer Wegeleitung für Lärmschutzwände schreibt die Baudirektion Kanton Zürich (2009), dass sich die Begrünung an Steilböschungen meist nicht zufriedenstellend entwickle.

Klein (1980) erklärt die beobachteten Vegetationslücken an Autobahnböschungen mittels eines Wirkungsnetzes (siehe Abb. 6.77) und geht davon aus, dass sekundäre Sukzession, ungeeignete, nicht standortgemässe Zuchtrassen, intensiver Verkehr und Art der Bewirtschaftung mit ihren jeweiligen Folgen letztlich die Lücken verursachen. Wenn zu diesen Faktoren die steile Neigung als charakteristisches Merkmal der Stützgitterböschungen sowie die Exposition hinzugefügt werden, ergibt sich ein Wirkungsbündel, das intensiv auf Lebensdauer und Verjüngung der Pflanzen an Stützgitterböschungen einwirkt und die Vegetationsdecke mit zunehmendem Alter immer lückiger und schütterer werden lässt. Da in den letzten Jahren die Bewirtschaftung eher extensiviert und immer bessere, dem Standort angepasste Pflanzenrassen in die Normen aufgenommen wurden, erhalten die Faktoren Neigung und Exposition, intensiver Verkehr sowie sekundäre Sukzession bei der Deutung der Vegetationslücken ein ganz besonderes Gewicht.

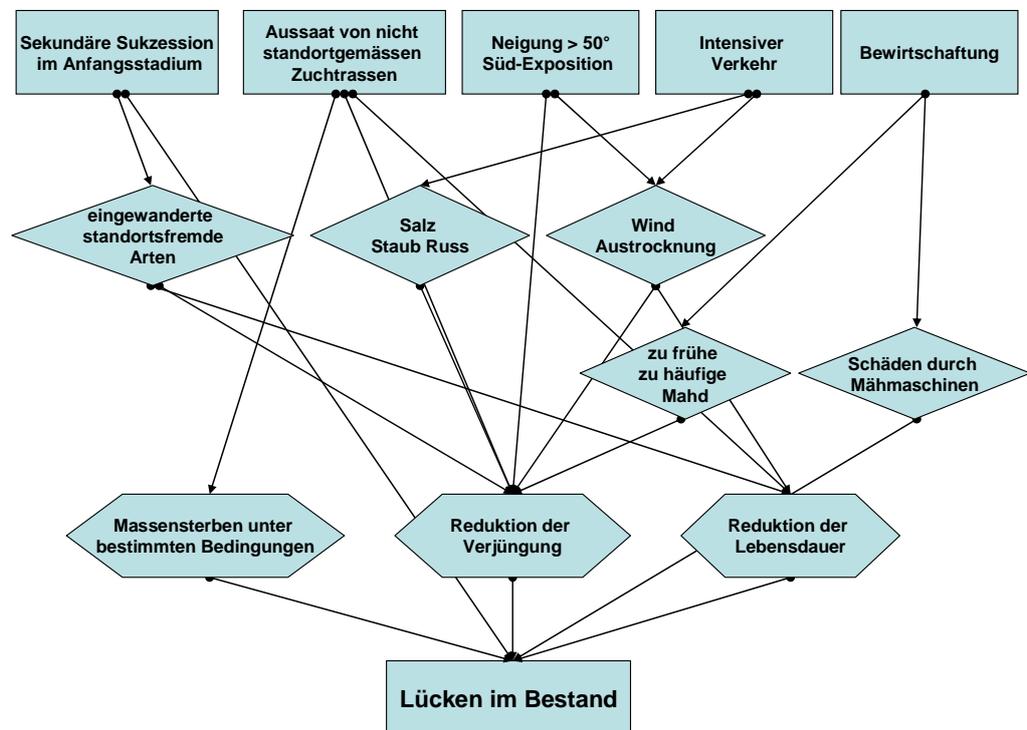


Abb. 6.77 Wirkungsnetz verschiedener Faktoren, die Lücken im Bestand verursachen (Klein 1980, verändert und ergänzt)

Horizontale Struktur

Die Untersuchung der Vegetationsdecke mittels Zählrahmen und Zählbalken macht ein schon beim Screening beobachtetes Phänomen deutlich, nämlich eine Anordnung der Pflanzen in kürzeren oder längeren horizontalen Streifen. Obwohl die Samen bei der Saat gleichmäßig flächig aufgespritzt wurden, wird recht schnell dieses Muster sichtbar. Verursacht wird es durch die kleinstandörtlichen Unterschiede zwischen der planen Front der einzelnen Stützgitter und den Stößen zwischen den Gittern. Vor allem bei Objekten mit engmaschigem Frontgewebe oder dichtem Vlies erweisen sich die Stöße der einzelnen Gitterlagen mit ihren kleinen Absätzen als "safe sites", wo die Samen liegen bleiben und keimen und die Wurzeln sich verankern und zwischen den Geotextillagen nach hinten wachsen können. Zudem sammelt sich auf diesen Absätzen das oben abperlende Regenwasser, sodass hier auch die Trockenheit weniger ausgeprägt ist. Andererseits erweisen sich die Stöße dann als vegetationslose Streifen, wenn sie durch Mäuse zu eigentlichen "Galerien" ausgeräumt wurden (siehe Abb. 5.72) oder wenn bei der Erstellung das umgeschlagene Fronttextil nicht satt mit Substrat ausgestopft wurde.



Abb. 6.78: Horizontale Vegetationslücken

An der glatten Front der einzelnen Stützgitter fallen die Pflanzen vermehrt aus, an den Stößen der Gitterlagen halten sie sich dank kleinster Absätze. Auch die Mäuse bevorzugen diesen Bereich (AG-11, 14.10.2008/BST)

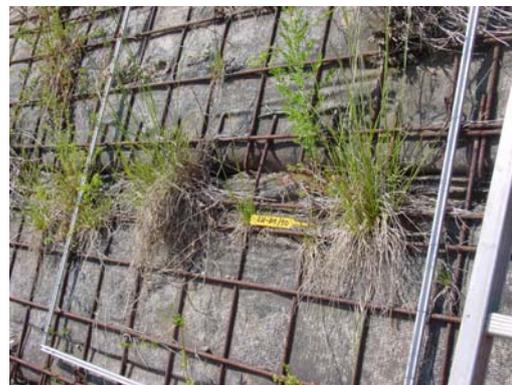


Abb. 6.79: Horizontale Vegetationsstreifen

Im Kontaktbereich finden sich kleinste Absätze, auf denen sich die Pflanzen verjüngen können (ZH-01, 27.04.2011/BST)



Abb. 6.80: Wind und starke Besonnung

5-jährige, fast vegetationslose Stützgitterböschung: Auswirkungen des Fahrtwindes und der vollsonnigen Lage (BL-02, Exp. SSW, 05.05.2012/BST)



Abb. 6.81: Wind, Schatten und feuchte Luft

4-jährige Stützgitterböschung, rechts Ufergehölz der Aare. Feuchte Lage mindert Auswirkungen des Fahrtwindes (AG-10, Exp. NW, 12.08.2010/BS)

6.2 Standort

6.2.1 Temperatur

Es ist bekannt, dass an südexponierten Böschungen sehr hohe Temperaturen auftreten können. Bei den Untersuchungen am Objekt AG-11 am 30.05.2011 waren die braunen, rostbedeckten Gitter so heiss, dass man sich fast die Finger verbrannte. Auf einer südexponierten Steilböschung wurden im Sommer am Nachmittag direkt auf offenem Boden 64°C gemessen, am Boden der Rasenschicht 40°C, während die Lufttemperatur in 2m Höhe 30°C erreichte (Puurwin in Herold, Hoy & Artmann 2000). Ähnliche Werte ermittelt Skirde (1978) für eine 40°-geneigte Südböschung anfangs August: Luft in 1.5 m Höhe 24.8°C, moosbedeckte Bodenoberfläche 31.5°C, unbedeckt Oberfläche 57.5°C. An Lärmschutzsteilwällen, die aus bepflanzten Betonkastenelementen aufgebaut sind, mass Eppel-Hotz (2000) im Juni 1996 an der Oberfläche der Betonkasten 43°C, während der Luftthermometer 32°C anzeigte. Im Sommer 1998 erreichte die Temperatur der Behälteroberfläche 47°C bei einer Lufttemperatur von 37°C. Während es im Sommer auf den Oberflächen der Steilwälle immer mindestens 10°C heisser als die Lufttemperatur ist, folgen die Minima im Winter fast direkt der Aussentemperatur (Eppel-Hotz 2000). Diese sehr grosse Spannweite zwischen Sommer- und Wintertemperaturen wird aber auch zwischen Tag und Nacht festgestellt. Der markante Unterschied zwischen mittäglichen Spitzentemperaturen und nächtlichen Kältewerten ist typisch für Böschungsoberflächen in unmittelbarer Fahrbahnnähe (Stottele & Sollmann 1992). Im Innern der Steilwälle hingegen ist diese Spanne deutlich geringer. Einerseits folgen die monatlichen Temperaturmaxima relativ eng der Lufttemperatur und andererseits liegen die absoluten Minimumtemperaturen im Durchschnitt 5-10°C über denen der Umgebungsluft (Eppel-Hotz 2000).

6.2.2 Wind

Stützgitterböschungen an Strassen sind starken Luftbewegungen ausgesetzt. So zeigte Eppel-Hotz (2004), dass mit Kletterpflanzen begrünte Lärmschutzwände auf der verkehrsfernen Seite doppelt so gut mit Ranken und Blättern abgedeckt waren als auf der dem Verkehr zugewandten Seite. Starke Zugluft und verstärkte Austrocknung scheinen die entscheidenden Faktoren zu sein, die den unterschiedlich dichten Bewuchs verursachen. Die Auswirkungen von Wind und Exposition zeigt eindrücklich das Objekt BL-02, ein Lärmschutzsteilwall entlang der SBB-Strecke Basel - Olten. Während auf der den Gleisen abgewandten Seite eine Gesamtdeckung von 80.0% (+- 10.3%) ermittelt wurde (siehe Abb. 5.60), präsentiert sich die andere Seite, die an die sehr stark befahrenen Gleise angrenzt, nach 5 Jahren fast vegetationslos (siehe Abb. 6.80). Die Stützgitterböschung ist zudem voll besonnt (Exposition SSW), sodass sich die Auswirkungen des Windes und der Sonne kumulieren. Ein anders Bild vermittelt hingegen der vierjährige Lärmschutzsteilwall zwischen Kantonsstrasse und SBB in Murgenthal (Objekt AG-10). Auf der gegen Südost exponierten Stützgitterböschung entlang der Strasse deckt die Vegetation durchschnittlich 83.8% (+- 9.2%); entlang der Schienen, gegen Nordwesten, scheint die Bedeckung fast ebenso gut (siehe Abb. 6.81). Der grosse Unterschied zu Objekt BL-02 dürfte durch die für die Vegetation günstigere Lage begründet sein - Exposition NW, feuchtere Luft dank der in 20m Nähe fliessenden Aare -, was die Auswirkungen des Fahrtwindes zu kompensieren scheint.

6.2.3 Substrat

Die Korngrössenverteilung ist von Objekt zu Objekt sehr unterschiedlich und zeigt kein für Stützgitterböschungen spezifisches Muster. Die Tongehalte liegen in der Grössenordnung von 10%, die Siltanteile bei ungefähr 40% und die Sandanteile bei 50%. Ob das entnommene Substrat in seiner Zusammensetzung den gesamten bewehrten Füllkörper repräsentiert oder nur das Substrat der begrünten Front kann nicht eruiert werden. Neuere Produkte sehen nämlich zwei verschiedene Substrattypen vor: Der statisch wesentliche Füllkörper aus optimal verdichtbarem Material einerseits und das Schüttmaterial hinter den Stützgittern der Front andererseits, das auf die Erfordernisse des Pflanzenwachstums ausgelegt sein soll. Rügger & Eberle (2006, S. 74) empfehlen als Frontsubstrat siltige Sande mit 5 – 10% Feinanteil <0.002 mm oder Silte mit etwas Sand und organischen Beimengungen; Partikel > 2 mm (= Skelettanteil) sollen gemäss dem

Band der Korngrößenverteilung maximal 20% ausmachen. Die Substrate der beprobten Objekte entsprechen ungefähr dieser Empfehlung. Die Empfehlung zum Frontsubstrat orientiert sich aber nicht ausschliesslich an den Bedürfnissen der Pflanzen; wegen der erforderlichen Stabilität auch der Front muss das Substrat zudem eine gute Verdichtbarkeit aufweisen.

Schwierig beim Aufbau einer Stützgitterböschung ist die unterschiedliche Behandlung der Bereiche Front und Füllkörper. Da diese räumlich nicht getrennt sind und die Standfestigkeit des Bauwerks immer vorrangig ist, verbleibt für spezielles Frontsubstrat oftmals zu wenig Platz, oder das Frontsubstrat wird gleichzeitig mit dem Füllkörper und deshalb zu stark verdichtet. Dass die vielerorts beobachteten unbefriedigenden Begrünungen dem Frontsubstrat und der Ausbildung der Front zugeschrieben werden, zeigt eine Neuentwicklung für bewehrte Steilböschungen, die 2009 patentiert wurde (Patent-De 2009) und unter dem Produktnamen DYNATEX der Fränkischen Rohrwerke Königsberg/Bayern im Handel ist. Das System trennt das tragende Bauwerk vollständig von der begrünbaren Front. Es umfasst einerseits die lageweisen Polsterwänden, die aus dem Geokunststoffnetz und dem mit dieser Bewehrung umhüllten, optimal verdichteten Füllmaterial bestehen und andererseits "eine davon konstruktiv getrennte, räumlich strukturierte, mit unverdichteten, begrünungsfähigen Böden gefüllte Aussenhaut" (Patent-De 2009). Als entscheidende Vorteile dieser separaten Aussenhaut nennt die Patentschrift, dass der Boden, weil keine tragende Funktion, optimal auf die Pflanzenbedürfnisse abgestimmt und locker eingefüllt werden kann, dass die Oberfläche dieser Aussenhaut sehr offenporig ausgebildet ist und ohne Geotextil oder Krallmatte auskommt und mit Rücksprüngen aufgebaut werden kann, sodass es "in hervorragender Weise gelingt, Niederschlagswasser in den Bereich des Saatgutes zu führen und dort zu speichern" (Patent-De 2009).

6.2.4 Feuchtigkeit

Steile Stützgitterböschungen sind bezüglich Wasserversorgung stark benachteiligt (Müller 2001). Liegt eine Fläche horizontal, erhält sie 100% Regenspende. Ist die gleiche Fläche 45° geneigt, treffen noch 70% und bei einer Neigung von 67.5°, was vielen Stützgitterböschungen entspricht, nur noch 37.5% der horizontal möglichen Regenspende auf. Zudem fliesst der auftreffende Regen schnell ab und kann kaum vom Substrat aufgenommen werden (Esser 1995). Zum schnellen Abfluss tragen auch offen liegende Vliese bei, die mit zunehmender Liegezeit verfilzen, sodass das Regenwasser weniger durchsickert und mehr abströmt (Müller 2000). Es ist deshalb verständlich, dass in der Mehrheit der beprobten Stützgitterböschungen die höchsten Wassergehalte in der Böschungskrone und knapp unterhalb anzutreffen waren (siehe Abb. 4.23). Dieser oberste Böschungsbereich wird von den überall horizontalen, aber unterschiedlich breiten Kronenflächen gespeist, wo der Niederschlag vollständig und ungehindert einsickern kann. Es gibt aber auch Objekte, wo die Wassergehalte am Böschungsfuss am höchsten sind. Dies könnte einerseits durch starke Austrocknung des Kronenbereichs infolge Winds und andererseits durch kapillar aufsteigendes Bodenwasser verursacht sein. Bei allen beprobten Objekten sind in der Böschungsmitte die Wassergehalte niedriger, was dem erwähnten schnell abfliessenden und wenig einsickernden Regenwasser und dem in solche Höhen nicht mehr aufsteigenden Bodenwasser zugeschrieben werden kann. Insgesamt wird der Wasserhaushalt an Steilböschungen als sehr ungünstig beurteilt (Esser 1995, Herold, Hoy & Artmann 2000). Aus diesem Grund und in Hinblick auf das Objekt BL-01 bei Arisdorf hielt Buser (1994) fest, dass steile und schmale Wall-Konstruktionen, u.a. Textomur-Wände, in der Regel eine Bewässerung benötigen und daher nur in Ausnahmefällen einzusetzen seien. Auch Rügger & Eberle (2006) schreiben, dass bei steilen Stützgitterböschungen mit über 60° Neigung eine vollflächige Begrünung nur mit Bewässerung aufrechtzuerhalten ist.

Die eher trockenen Bedingungen in den mittleren Bereichen der Steilböschungen werden von den Pflanzen unterschiedlich bewältigt. Da Gräser mehrheitlich Flachwurzler sind, dafür die obersten Bodenschichten intensiv durchwurzeln (Herndl 2011), reagieren sie auf austrocknende Substratoberflächen empfindlicher und unterschiedlicher als tief wurzelnde Arten. Während *Arrhenatherum elatius* / Fromental im Trockenstress die oberflächennahen Wurzeln reduziert, dafür in tiefere Schichten vordringt, reduziert

Festuca rubra / Rot-Schwingel ebenfalls die flachen Wurzeln, ohne aber tiefer reichen zu können (Herndl 2011). Der Fromental kann sich deshalb an den meisten Stützgitterböschungen behaupten, der Rot-Schwingel vor allem an den weniger trockenen Standorten (siehe Kap. 6.1). Unter den Kräutern zeigt *Lotus corniculatus* / Hornklee eine ähnliche Reaktion wie der Fromental. Normalerweise wurzelt er eher flach (~40 cm), bildet bei Trockenstress aber tiefere Wurzeln aus. Ohnehin tiefe Wurzeln und damit weniger Anfälligkeit gegen Trockenheit charakterisieren die meisten der nachgewiesenen krautigen Arten auf Steilböschungen. Allerdings durchwurzeln sie mit ihren Pfahlwurzeln die Substratoberfläche weniger dicht, was die Erosionsanfälligkeit erhöhen dürfte.

Gemäss den Zeigerwerten der vorkommenden Pflanzenarten herrschen an Stützgitterböschungen je nach Exposition und Füllmaterial Bedingungen zwischen mässig trocken bis frisch. Der durchschnittliche Zeigerwert für die Feuchtigkeit beträgt 2.72 (Abb. 5.66). Für normal geneigte Autobahnböschungen ermittelte Klein (1980) einen F-Wert von 2.64. Die Mehrheit der Stützgitterböschungen kann als gering trocken bis frisch gelten (siehe Abb. 5.68). Die in den Bodenproben gezeigten unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalte im Fuss, in der Mitte und in der Krone der Stützgitterböschungen können durch die Zeigerwerte nicht abgebildet werden. Durchschnittlich frische Verhältnisse wurden mittels Zeigerwerten (durchschnittlicher Ellenberg-Zeigerwert 5.1) auch in Stützgitterböschungen in Sachsen ermittelt (Herold, Hoy & Artmann 2000).

6.2.5 Nährstoffe

Für das Pflanzenwachstum ganz wesentlich ist die ausreichende Versorgung mit aufnehmbarem Stickstoff. Alle beprobten Objekte mit Ausnahme des gut dotierten AG-11 wiesen Nitratwerte auf, die aus Sicht der landwirtschaftlichen Praxis als eher tief taxiert werden. Die andern leichtverfügbaren Nährstoffe P, K, Mg und Ca pendeln zwischen tief und hoch, wobei nur bei P und Mg einzelne sehr tiefe Werte gemessen wurden. Gemäss den ermittelten pflanzlichen Zeigerwerten gibt es nur zwei mit wenigen Nährstoffen versorgte Objekte; alle andern untersuchten Objekte verfügen über eine mässige bis gute Nährstoffversorgung (durchschnittlicher N-Wert 3.05). An normal geneigten Autobahnböschungen scheint die N-Versorgung etwas besser, wie der von Klein (1980) ermittelte durchschnittliche N-Wert von 3.21 zeigt. Auch die mittels Zeigerwerten analysierten Standorte auf sieben Steilböschungen in Sachsen zeigten eine mässige bis gute Nährstoffversorgung. Vielfach traten dominante stickstoffanzeigende Arten auf (Herold, Hoy & Artmann 2000). Dass ein partieller Ausfall der Begrünung durch Nährstoffmangel verursacht sei (Müller 2001), ist angesichts obiger Durchschnittswerte eher unwahrscheinlich. Nach 12-jährigen Versuchen an bepflanzten Lärmschutzsteilwällen in Kastenbauweise stellte Eppel-Hotz (2005) fest, dass der Einfluss der Substrate – Oberboden oder Spezialsubstrate - auf die Pflanzenentwicklung gering war. Gut gehalten haben sich nur Arten, die extrem trocken tolerant sind.

6.2.6 pH

Bezüglich des Säure/Basen-Verhältnisses sind die Stützgitterböschungen als schwach basisch bis basenreich zu bezeichnen (durchschnittlicher R-Wert 3.23). Praktisch identische Verhältnisse - R-Wert 3.22 - zeigen die Pflanzen an normalen Autobahnböschungen (Klein 1980). Der gegenüber normalen Böden auffällige Basengehalt der Substrate an Stützgitterböschungen wird durch die Analyse der Bodenproben (siehe Abb. 4.22) bestätigt. Die Befunde decken sich mit Stottele & Sollmann (1992), die festhalten, dass auffällig hohe pH-Werte charakteristisch sind für Böden in Strassennähe und auch in bodensauren Landschaften deutlich über denen der Umgebung liegen. Als Ursachen sehen die erwähnten Autoren baubedingte Bodenveränderungen und kalziumhaltige Staubeinträge aus dem Fahrbahnabrieb.

6.2.7 Streusalz

Die Analyse der Substratproben ergab für die untersuchten Objekte normale bis sehr grosse Salzgehalte in Bezug zum Normgehalt (siehe Abb. 4.22). Relativ am stärksten mit Streusalz belastet sind jeweils die mittleren Bereiche der Steilböschungen, wo die geringsten Auswaschungseffekte wirksam sind. Eine eindeutige Reaktion der Vegetati-

on auf diese Belastung ist nicht nachzuweisen. Etliche der an den untersuchten Steilböschungen häufig vorkommenden Arten zeichnen sich allerdings durch eine gewisse Salztoleranz aus, etwa *Achillea millefolium*, *Cirsium arvense*, *Conyza canadensis*, *Epilobium hirsutum*, *Holcus lanatus*, *Plantago lanceolata*, *Sonchus oleraceus*, *Sonchus asper*, *Urtica dioeca*, *Vicia cracca* (Keil 2010). Auch das Schmalblättrige Greiskraut/*Senecio inaequidens*, das eine deutliche Präferenz für Autobahn-Seitenflächen besitzt, dürfte seinen Erfolg ebenfalls seiner Salztoleranz (Keil 2010) verdanken.

6.3 Anforderungen an die Begrünung und Bepflanzung

Gemäss Rügger & Eberle (2006) muss eine Begrünung und/oder Bepflanzung der Front folgende Anforderungen erfüllen:

- Standortgerechte Artenzusammenstellung
- Vollflächiger Deckungsgrad an der Konstruktionsfront
- Intensive Durchwurzelung an der Konstruktionsfront mit Tiefenwirkung
- Pflanzen müssen sich am Standort etablieren und langfristig weiterentwickeln können
- Allfällige Trockenperioden im Sommer ohne Schaden überstehen können
- Kostenintensive Unterhaltsarbeiten auf ein Minimum beschränken

Die formulierten Anforderungen sollen in Bezug auf die vorliegenden Befunde beurteilt werden.

Standortgerechte Artenzusammenstellung

Die bei der Erstellung der untersuchten Objekte effektiv angesäten Arten und ihre Anteile konnten nicht eruiert werden. Die beobachteten und als angesät eingeschätzten Arten sind allerdings in Samenmischungen für artenreiches, eher trockenes Grünland oder in Gründachmischungen häufig vertreten und können grundsätzlich als geeignet taxiert werden. Wie die Untersuchung zeigte, fallen die angesäten Arten nach wenigen Jahren zunehmend aus und werden von spontan aufgekommenen Arten abgelöst. Dieser Prozess ist nicht auf Stützgitterböschungen beschränkt, sondern kann auch an anderen angesäten Strassenseitenflächen beobachtet werden. Es bildet sich eine Vegetationsdecke heraus, die mehrheitlich aus spontan aufgekommenen Arten besteht und mit ihren Arten, Artmächtigkeiten und der Verteilung auf der Fläche die herrschenden Standortbedingungen abbildet. Es gibt nur wenige als angesät eingeschätzte Arten, die in nennenswerten Anteilen durchhalten und deshalb als standortgerecht bezeichnet werden können.

Vollflächiger Deckungsgrad an der Konstruktionsfront

Bei den untersuchten Objekten erfüllt die Vegetation diese Anforderung nicht. Die Gesamtdeckung beträgt durchschnittlich nur 66 %, wobei schattige Stützgitterböschungen dank der Moose besser bewachsen sind als sonnige. Wird nur die Deckung der Sprosspflanzen betrachtet, resultiert ein Deckungsgrad von ~30%, ausgedrückt als Gesamtabundanz. Dass die Begrünung vielfach nicht flächendeckend ist, wurde auch an andern Steilböschungen gezeigt. Zwar erreichen auch normal geneigte und angesäte Böschungen an Strassen nie 100% Deckung. Ein Vegetationsschluss von 80% an normalen Böschungen gewährleistet den erforderlichen Erosionsschutz aber gleichwohl und schafft darüber hinaus Platz für neu einwandernde, allenfalls wertvolle Pflanzenarten und für Licht und/oder Wärme bedürftige Insekten und Spinnen.

An Stützgitterböschungen ist das Fehlen einer vollflächigen Bedeckung ernster zu nehmen. Da die Vegetationsdecke mit ihrem Blattwerk und dem Wurzelfilz das Front-Geotextil vor schädigenden Witterungseinflüssen schützen muss (Rügger & Eberle 2006, S. 32), verringert das Fehlen eines genügenden Witterungsschutzes die Lebensdauer des Geokunststoffes. Die Vegetation soll nicht nur beschatten, sondern muss zusammen mit dem Front-Geotextil den ganzen Oberflächenbereich festigen (Rügger & Eberle 2006, S. 30). Es droht bei mangelnder flächiger Durchwurzelung eine Überlastung des Geokunststoffes, der bei ungenügender Beschattung noch schneller altert.

Intensive Durchwurzelung an der Konstruktionsfront mit Tiefenwirkung

Eine Durchwurzelung mit Tiefenwirkung kann auf Grund der vorkommenden Pflanzenarten angenommen werden. Die Hälfte der an Stützgitterböschungen häufigsten Pflanzenarten (Stetigkeit >10%) sind Tiefwurzler. Es sind in der Mehrheit spontane Arten, die mit ihren mehr als 60 cm langen Wurzeln durch die Frontschicht hinunter bis in das Füllmaterial der Konstruktionen vordringen können. Angesichts der mangelhaften Deckungswerte stellt sich allerdings die Frage, ob die Durchwurzelung intensiv genug ist. Eine intensive Durchwurzelung ist nur dann möglich, wenn der Front-Geokunststoff das zulässt. Rügger & Eberle (2006) weisen deutlich auf das Problem hin: "Bei begrünten Fronten können die Bewehrungsgeokunststoffe in Umschlagtechnik nur eingesetzt werden, wenn diese grosse Öffnungen aufweisen, welche eine nur wenig behinderte Durchwurzelung ermöglichen und dem Bewuchs allgemein keinen zu grossen Widerstand entgegensetzen. Dies ist allgemein nur mit Geogittern mit Maschenweiten >10 mm möglich und wenn die offene Fläche zur Gesamtfläche mindestens 60% beträgt. Feinmaschigere oder -porigere Bewehrungsgeokunststoffe (Gewebe, Vliese) sind in der Regel zu dicht und dick, als dass sie erfolgreich durchwachsen werden können. Sie bieten einen zu grossen Widerstand, schnüren die Wurzeln ein oder bilden einen Kapillarbruch zwischen Untergrund und der von Aussen aufgespritzten Vegetations- bzw. Keimschicht. Die Wurzeln der jungen Pflanzen vertrocknen im Geokunststoff." Immer wieder auftretende Fehlstellen als Folge von nicht anliegenden Front-Geokunststoffen mit Hohlräumen dahinter sind praktisch an allen Objekten zu sehen und wurden auch andernorts beobachtet (Herold, Hoy & Artmann 2000).

Pflanzen müssen sich am Standort etablieren und langfristig weiterentwickeln können

Ob sich die eingebrachten Pflanzen am Standort etabliert haben, kann wegen fehlender Saatzepturen resp. Pflanzlisten nicht beurteilt werden. Da die angesäten Arten nach wenigen Jahren zunehmend ausfallen und von spontanen Arten abgelöst werden, ist eine langfristige Weiterentwicklung nur für wenige der eingebrachten Arten gegeben. Vermutlich gehören dazu die anspruchslosen Gehölze (siehe Abb. 5.33), obwohl ihr Anfangsbestand nicht bekannt ist und manche Arten intensiv von Mäusen angefressen werden. Die geforderte langfristige Weiterentwicklung der Gräser und Kräuter hingegen ist nur gewährleistet, wenn sich die Arten am Standort entweder durch Versamen oder durch Ausläuferbildung verjüngen können. Bezüglich der Wuchsform der an Stützgitterböschungen häufigsten Gräser treten die horstwüchsigen Arten Aufrechte Trespe, Knaulgras und Fromental mit einer Stetigkeit von zusammen 42.3% auf, die mit Ausläufern rasenbildenden Arten Rot-Schwingel und Quecke mit einer Stetigkeit von 49.5%. Da horstwüchsige Gräser nur drei bis fünf Jahre leben, sind sie existentiell auf ihre Versamung und die Etablierung von samenbürtigen Jungpflanzen angewiesen (Stutz 2005). Insbesondere die ungünstigen Bedingungen für Keimung und Keimlingsentwicklung an den Steilböschungen erscheinen als Nadelöhr, welches die langfristige Weiterentwicklung vor allem der Horstgräser, aber auch der anderen angesäten Arten stark einschränkt. Wie auch die vorliegenden Auswertungen zeigen, nimmt ihre Deckung mit dem Alter ab. Unter anderen erschweren folgende Faktoren die Keimung und Etablierung:

- Die ausserordentliche Steilheit macht es sehr vielen Samen unmöglich, liegen zu bleiben, zu quellen und sich mit der Keimwurzel verankern zu können. Runde Samen rollen hinunter und schwere Samen, z.B. solche mancher Gräser und vieler Leguminosen, finden keinen Halt. Im Vorteil sind die ganz leichten Verbreitungseinheiten, nämlich die Sporen der Moose und der Farne sowie ganz kleine Samen, wie sie bei Ruderalpflanzen häufig sind. Auf Steilböschungen ebenfalls begünstigt sind Samen mit Schirmchen oder Haarknäueln, die an feuchten oder rauen Oberflächen kleben oder hängen bleiben. Auch die langen, rauen Karyopsen der Gräser können sich verkeilen, verhaken und liegen bleiben, falls sie doch nicht zu schwer sind. Handicapiert bei der Verjüngung an Steilböschungen ist deshalb die Aufrechte Trespe mit ihren schweren Karyopsen von durchschnittlich 7.26 mg. Bessere Chancen eröffnen sich Arten mit leichteren Samen (alle Samengewichte nach Jackel et al. 2006): An Stützgitterböschungen in unterschiedlicher Stetigkeit spontan aufgenommen (siehe Abb. 5.29) sind Knaulgras (Stetigkeit 41.8%, Samengewicht 1.06

mg), Fromental (34%, 2.44 mg), Weiche Trespe (19.8%, 2.80 mg), Fiederzwenke (8.8%, 3.2 mg), Wolliges Honiggras (7.7%, 0.41 mg).

- Die Windströmungen an den aufragenden Stützgitterböschungen und insbesondere der ständige Fahrtwind an stark frequentierten Strassen und Schienen stören das ruhige Liegenbleiben und Fussfassen der Keimwurzeln. Und das schnell abfließende Regenwasser spült die Samen weg, falls sie nicht in einer sicheren Nische liegen. Folge davon sind die dichten Kraut- und Grassäume am Fuss der meisten Stützgitterböschungen (charakteristisch ausgeprägt am Objekt AG-11), die aus den hier angereicherten Samen aufgelaufen sind.
- Stark sonnige Expositionen und wiederum Wind bewirken nach Regenfällen eine schnelle Ab- und Austrocknung und das Absterben vieler keimender Samen und Keimlinge.
- Grossflächige Lücken erschweren Verjüngung und Neubesiedlung zusätzlich, da dort wegen fehlender Beschattung durch bestehende Pflanzen Hitze, Wind und Regen noch stärker einwirken.

Die relativ besten Bedingungen für die Verjüngung auf den stark geneigten Stützgitterflächen bieten die ganz schmalen Absätze oder Gesimse zwischen den einzelnen Stützgitterlagen, die als Keimnischen - safe sites – dienen können. Interessanterweise zählen auch alte Mäuselöcher im Frontgeotextstoff und von Mäusen ausgestossene Erde, die auf Pflanzen oder Gitterstäben liegen bleibt, zu diesen für die Verjüngung so wichtigen safe sites. Sicher günstiger als die glatten Oberflächen der Frontgeotextile oder -vliese sind die Wirrgelege oder Krallmatten. Sie erzeugen rauere Oberflächen mit mehr Nischen, ermöglichen besseren Kontakt der Samen mit dem Substrat und bremsen unmittelbar über der Oberfläche Wind und Regentropfen, sodass vermutlich mehr Samen die heikle Phase der Keimung unbeschadet durchlaufen und sich als Jungpflanzen etablieren können. Diesbezüglich ebenfalls besser geeignet scheint auch das neue System DYNATEX (siehe Kap. 6.2.3) mit seiner Wabenstruktur an der Oberfläche, falls diese gut mit Substrat verfüllt ist. Da das Produkt erst 2009 auf den Markt kam, fehlen noch die Erfahrungen.

Allfällige Trockenperioden im Sommer ohne Schaden überstehen können

Schon die visuelle Beurteilung der Objekte im Zuge des Screenings zeigte, dass diese Anforderung von den stark besonnten Objekten nicht erfüllt wird. Ob der beobachtete Ausfall nur durch Trockenperioden im Sommer verursacht ist, kann nicht beurteilt werden.

Kostenintensive Unterhaltsarbeiten auf ein Minimum beschränken

Als Unterhaltsarbeiten werden im Wesentlichen das Mähen oder Mulchen der Vegetation an Stützgitterböschungen verstanden. Beobachtungen an den Objekten und Befragung von Pflegediensten zeigen, dass anfänglich zu sehr gespart wurde. Zu schnelles, dem Objekt nicht angemessenes Arbeiten oder ungeeignete Geräte beschädigten etliche Stützgitter. Die besonderen Anforderungen bei der Mahd wurden teilweise durch aufwändige Eigenentwicklung von Spezialmähern gelöst oder erfordern insbesondere bei den über 5m hohen Objekten jährlich die Zumiete von Spezialgeräten oder den Bezug von Spezialfirmen. Das Postulat nach minimalem Unterhaltsbedarf schliesst zudem jegliche Bewässerung aus, obwohl das auf Grund von Erfahrungen in Betracht gezogen werden müsste (Herold, Hoy & Artmann 2000, Eppel-Hotz 2004). Verrottete Bewässerungseinrichtungen an den Objekten AG-11 und VS-03 deuten allerdings an, dass das keine dauerhaften Lösungen waren und sie den Niedergang der Vegetation nicht aufhalten konnten.

7 Anwendung der Ergebnisse

7.1 Systemwahl

7.1.1 Stützsystem

Der Einsatz von Stützgitterböschungssystemen, die flächig begrünt werden können, erfolgt in bestimmten Grenzen. Auf Grund von Erfolgskontrollen bestehender Bauwerke in Deutschland stecken Herold, Hoy & Artmann (2000) den Einsatzbereich ab.

Abb. 7.82 Einsatzbereich der Systemkomponenten für die Front bei Stützgitterböschungen unterschiedlicher Neigung gemäss Herold, Hoy & Artmann (2000)

Systemkomponente	Neigung 35 - 49°	Neigung 50 - 69°	Neigung 70 - 79°	Neigung 80 - 90°
Front-Geokunststoff	notwendig	notwendig	notwendig	notwendig
Frontgitter	sinnvoll	notwendig	notwendig	notwendig
Vorsprünge, Gesimse	sinnvoll	notwendig	notwendig	nein
Bermen für die Pflege	sinnvoll > 45°	notwendig	notwendig	nein
Flächige Begrünung mit Gräsern und Krautpflanzen	sinnvoll	notwendig	notwendig	nein
Einzelstockbegrünung mit Kletterpflanzen oder Sträuchern	sinnvoll	notwendig	notwendig	nein
Dauerhafte Bewässerungseinrichtung	nein	sinnvoll	notwendig	nein

Flächige Begrünungen ohne dauerhafte Bewässerungseinrichtungen sind gemäss Abb. 7.82 nur bis 69° Neigung möglich. Selbst im Neigungsbereich 50 - 69°, dem alle in der Schweiz untersuchten Objekte angehören, wird eine dauerhafte Bewässerung als sinnvoll bezeichnet. Auch die Richtlinie für den Kanton Aargau (Rüegger & Eberle 2006) schränkt den Einsatzbereich ohne Bewässerung auf Neigungen bis generell 60°, unter günstigen Bedingungen bis 70° ein.

Notwendig bereits ab 50° Neigung sind gemäss Herold, Hoy & Artmann (2000) sodann Vorsprünge und Bermen, die die Pflege erleichtern sollen, aber insbesondere die Wasserversorgung verbessern.

Auf Grund vorliegender Untersuchung erfährt der Einsatzbereich von Stützgitterböschungen weitere Einschränkungen. Sie leiten sich ab aus den Befunden und den Anforderungen, welche die Vegetation auf der Front gemäss Rüegger & Eberle (2006) zu erfüllen hat.

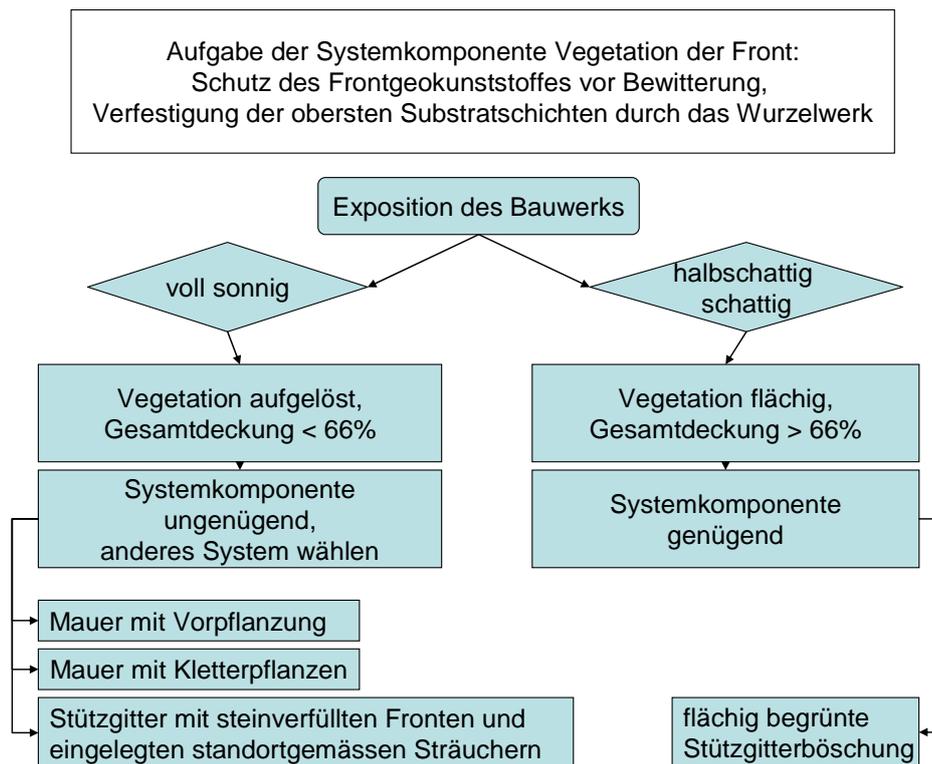


Abb. 7.83 Entscheidungskriterium Exposition

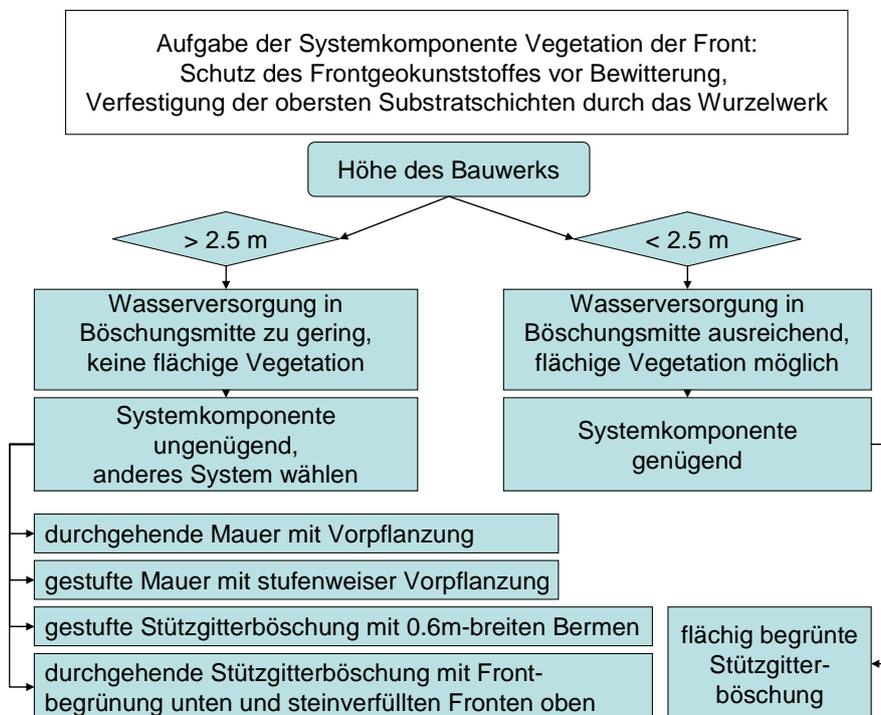


Abb. 7.84 Entscheidungskriterium Höhe des Bauwerks

7.1.2 Bewehrung

Front-Geokunststoff

- Nur Wirrgelege resp. Krallmatten: Engmaschige Frontgeotextile oder -vliese behindern das Wachstum der Pflanzen (Rüegger & Eberle 2006). Front-Geokunststoffe mit vertikalen Schlitzen halten das oft ausgetrocknete Substrat zu wenig zurück und lassen das Feinmaterial herausrieseln.
- Nur helle Farbtöne: Dunkle Geokunststoffe heizen sich stärker auf und bewirken eine verstärkte Austrocknung des angrenzenden Substrats.

Stützgitter

- nur verzinkter Stahl: Die Gitter sind an allen Stützgitterböschungen mehr oder weniger sichtbar und nicht genügend durch Vegetation bedeckt. Die meisten sind nicht vergütet und deshalb rostig und wirken in der Kombination mit den grünen Pflanzen als störende Fremdkörper. Im Interesse der Langlebigkeit sind in der EU nur noch verzinkte Gitter zugelassen. Ferner werden die verzinkten, hellen Gitter in der Sonne etwas weniger heiss als die wegen des Rostes dunklen Gitter.

7.1.3 Vegetationsbild

Flächige Vegetation

Die Beispielbilder der Systemanbieter wie auch die Referenzblätter von Tiefbauunternehmen zeigen vor allem begrünte Stützgitterböschungen im ersten und zweiten Standjahr. Der üppig grüne Graspelz von Englisch Raigras oder von Rotschwengel beeindruckt und macht dem Begriff "grüne Wand" alle Ehre. Gleichzeitig suggerieren die Bilder, dass eine Stützgitterböschung so auszusehen hat und dieser Aspekt von nun an jedes Jahr erwartet werden kann.

Das Screening von fast 40 bestehenden Objekten und die nachfolgenden Untersuchungen zeigen ein anderes Bild. Die Phase mit dem grünen Pelz ist nur vorübergehend; die Objekte sehen anders aus.

Begrünte Stützgitterböschungen, die auf mindestens 50 Jahre Nutzungsdauer ausgelegt sind, treten in Erscheinung als stark ruderal geprägte, saumartige Pflanzenbestände mit regelmässiger Präsenz von neophytischen Hochstauden und anderen Ruderalpflanzen. Sie sind meist sehr schütter und zeigen recht grosse Lücken. Im Schatten nehmen die Moose grosse Flächen ein. Da die Vegetation durchschnittlich nur 2/3 der Fläche deckt, ist fast überall die Oberfläche der Konstruktion zu sehen. Im Gegensatz zu normal geneigten Böschungen an Autobahnen, die auch keine höhere Gesamtddeckung aufweisen, sind an Stützgitterböschungen zwischen den Pflanzen und in Lücken aber nicht Erde, Steinchen, Pflanzenreste oder alte Schneckenhäuser zu sehen, sondern angewitterte Kunststoffmaterialien und Eisengitter. Um Enttäuschungen zu vermeiden, muss die zu erwartende Entwicklung deshalb klar kommuniziert werden.

Sträucher

Falls solche ruderalen, saumartigen Pflanzenbestände nicht erwünscht sind, ist der Einsatz von steinverfüllten Stützgittern mit Einlage von Sträuchern zu prüfen. Es stehen geeignete Straucharten zur Verfügung (siehe Liste), die mit ihren Wurzeln in tiefere, tendenziell feuchtere Erdschichten eingelegt werden können. Vor allem sind sie als ausdauernde Gehölze nicht auf schnelle Verjüngung angewiesen, was an Stützgitterböschungen sehr schwierig ist. Die vorgeschlagenen Gehölze zeichnen sich zudem durch schöne Aspekte (Blüten, Früchte, Herbstfärbung) aus, was das Publikum durchaus schätzt. Zudem sehen steinverfüllte verzinkte Gitter besser aus als stark lückige Begrünungen mit sichtbarem, verwitterndem Geokunststoff, was mit Recht als Mangel oder Fehler aufgefasst wird.

7.2 Begrünung

7.2.1 Ansaaten

Gemäss Kap. 7.1 sollen flächig begrünte Stützgitterböschungen nur noch an halbschattigen bis schattigen Lagen erstellt werden. Die im Folgenden vorgeschlagenen Arten beziehen sich auf solche Standorte.

Bei den Gräsern wird wie in vielen Ansaaten üblich eine schnell begrünende Art (Engl. Raigras) eingesetzt, die nach zwei Jahren den Dauergräsern Platz macht. Als Dauergräser werden fünf Rasengrasarten, also solche mit Ausläufern, sowie zwei Horstgrasarten empfohlen. Andere Horstgräser wie Knaulgras / *Dactylis glomerata*, Fromental / *Arrhenatherum elatius* und Weiche Trespe / *Bromus hordeaceus* stellen sich spontan ein. Alle genannten Arten (ausser Wehrlose Trespe) wurden in älteren und alten Stützgitterböschungen nachgewiesen.

Als geeignete Kräuter sind Arten aufgelistet, die meist tief wurzeln, sich auch in eher trockenen Bedingungen bewähren und schöne Blühaspekte zu bilden vermögen. Alle kommen in den untersuchten Objekten mit nennenswerten Stetigkeiten vor. Neben den 14 zur Ansaat empfohlenen Arten kann mit vielen weiteren, spontan aufgekommenen Blütenpflanzen gerechnet werden, die Farbe an die Steilböschungen bringen.

<i>Abb. 7.85 Geeignete Gräser und Kräuter in Stützgitterböschungen</i>		
Art deutsch	Art lateinisch	Besonderes
Gräser		
Fiederzwenke	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) P.B.	Rasengras
Aufrechte Trespe	<i>Bromus erectus</i> L.	Horstgras
Wehrlose Trespe	<i>Bromus inermis</i> Leyss.	Rasengras
Ausläufer-Rotschwingel	<i>Festuca rubra rubra</i> Mit.	Rasengras (geringe Saatstärke!)
Englisches Raigras	<i>Lolium perenne</i> L.	Rasengras (geringe Saatstärke!)
Wiesen-Lieschgras	<i>Phleum pratense</i> L.	Horstgras
Platthalm-Rispengras	<i>Poa compressa</i> L.	Rasengras
Schmalblättriges Rispengras	<i>Poa pratensis</i> ssp. <i>angustifolia</i> (L.) Gaud.	Rasengras
Kräuter		
Gemeine Schafgarbe	<i>Achillea millefolium</i> L.	
Wiesen-Flockenblume	<i>Centaurea jacea</i> L.	
Wirbeldost	<i>Clinopodium vulgare</i> L.	
Raue Nelke	<i>Dianthus armeria</i> L.	
Natterkopf	<i>Echium vulgare</i> L.	
Echtes Labkraut	<i>Galium verum</i> L.	
Behaartes Habichtskraut	<i>Hieracium pilosella</i> L.	
Hornklee	<i>Lotus corniculatus</i> L.	
Dost	<i>Origanum vulgare</i> L.	
Kleiner Wiesenknopf	<i>Sanguisorba minor</i> L.	
Weisser Mauerpfeffer	<i>Sedum album</i> L.	
Nickendes Leimkraut	<i>Silene nutans</i> L.	
Taubenkropf-Leimkraut	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	
Feld-Thymian	<i>Thymus pulegioides</i> L.	

Die eigentliche Mischungsrezeptur wird am sinnvollsten durch die Samenfirma zusammengestellt. Es empfiehlt sich, gegenüber Ansaaten normaler Böschungen erhöhte Samenzahlen vorzusehen. Bezüglich Herkünften der Samen sowie bezüglich der Saatverfahren ist die VSS-Norm 640 671c Grünräume - Begrünung, Saatgut, Mindestanforderungen und Ausführungsmethoden - einzuhalten.

7.2.2 Gehölze

Gemäss den Langfristversuchen von Eppel-Hotz (2005) bewähren sich am Extremstandort Steilwall resp. Stützgitterböschung auf die Dauer nur wenige Straucharten. Als ebenfalls geeignet werden jene Arten taxiert, die sich gemäss vorliegender Untersuchung an sehr alten Stützgitterböschungen (Standzeit 12 – 19 Jahre) und auch jüngeren Objekten bewährt haben.

Abb. 7.86 Bewährte Gehölze in Stützgitterböschungen

Art deutsch	Art lat.	Besonderes	Nachweis Eignung
Felsenmispel	Amelanchier ovalis Medik.	gegen Mäuse schützen	ZH-01 (12 Jahre)
Berberitze	Berberis vulgaris L.		BL-01 (19 Jahre)
Strauchwicke	Coronilla emerus L.		AG-06 (4 Jahre)
Perückenstrauch	Cotinus coggygria Scop.	gegen Mäuse schützen	Eppel-Hotz (2005)
Ölweide	Elaeagnus commutata 'Zempin'	gegen Mäuse schützen	Eppel-Hotz (2005)
Liguster	Ligustrum vulgare L.		BL-01 (19 Jahre)
Felsenkirsche	Prunus mahaleb L.		BL-01 (19 Jahre)
Feld-Rose	Rosa agrestis Savi		Eppel-Hotz (2005)
Hag-Rose	Rosa canina L.		BL-01 (19 Jahre)
Reichstachelige Rose	Rosa spinosissima auct.		BL-01 (19 Jahre)
Virginische Rose	Rosa virginiana (R. lucida)		Eppel-Hotz (2005)
Wolliger Schneeball	Viburnum lantana L.		AG-06 (4 Jahre)

Gehölze werden am sinnvollsten mit steinverfüllten Fronten kombiniert. Die fachgerechte Pflanzung der Gehölze in die Stützgitterböschung wird von Rügger & Eberle (2006, S. 36-41) detailliert beschrieben. Zusätzlich zu beachten ist der Schutz der Wurzelballen vor Nagern. Die Ballen müssen bis dicht an den Wurzelhals in flexible Gitternetze eingepackt werden.

7.3 Pflege

7.3.1 Ziele

Die Pflege der Begrünung von Stützgitterböschungen muss einerseits die Systemstabilität unterstützen und andererseits die Gebrauchstauglichkeit der Bauwerke an Verkehrswegen, in der Siedlung und in der offenen Landschaft gewährleisten.

In Hinblick auf die Systemstabilität hat die Pflege folgende Aufgaben (siehe auch Rügger & Eberle 2006):

- Fördern einer möglichst vollflächigen, die Oberfläche abdeckenden und dauerhaften Vegetationsschicht
- Fördern der intensiven Durchwurzelung der obersten Substratschicht
- Fördern der tiefen Einwurzelung in die unteren Substratschichten
- Fördern der Verjüngung der Vegetation

Aus Sicht der Gebrauchstauglichkeit, die je nach Objekt und Lage unterschiedliche Anforderungen stellt, muss die Pflege weitere Ziele sicherstellen:

- e) Freies Lichtraumprofil, keine Gefahr von Brandfällen
- f) Standortgemässer, ausdauernder Vegetationstyp
- g) Artenvielfalt sowie Habitateignung für Tiere
- h) Gepflegtes Aussehen, Blütenreichtum

7.3.2 Pflege der Feldschicht

Mahd

Die zielgerichtete Pflege der grasig-krautigen Vegetation an Stützgitterböschungen erfordert eine abgestimmte Mahd. Zeitpunkt und Häufigkeit wirken sich unterschiedlich aus. Frühe und mehrmalige Mahd fördert die Ausläufer treibenden und damit Rasen bildenden Grasarten (u.a. Wiesen-Rispengras, Ausläufer-Rotschwengel, Englisches Raigras), die sich am besten vegetativ über die Bestockung ihrer Ausläufer verjüngen. Gras- und Krautarten ohne unter- oder oberirdische Ausläufer müssen sich über Samen verjüngen. Der erste Schnitt darf deshalb nicht vor der Samenreife erfolgen. Mehrmaliger Schnitt kann die Pflanzen schwächen, sodass sie weniger tief einwurzeln, weniger Reservestoffe einlagern und im Frühling schwächer austreiben. Der Schnitt beeinflusst zudem das Mikroklima im Bestand, das für Keimung und Keimlingsentwicklung entscheidend ist.

Neben den übergeordneten Zielen a-d und e-h orientieren sich die Pflegemassnahmen auch am Vegetationstyp und seinen Pflanzenarten. Bestände mit rasenbildenden Grasarten – die an frisch angesäten Stützgitterböschungen häufig, an älteren Objekten jedoch nur an schattigen Lagen stärker vertreten sind – können früh und auch mehrmals geschnitten werden. Bei allen anderen Beständen hingegen muss die Samenreife der Horstgräser und der meisten Kräuter abgewartet werden.

Der Schnitt selbst muss sehr sorgfältig und mit geeigneten Geräten ausgeführt werden (Rüegger & Eberle 2006):

- Mindestabstand zu den Gittern von 10 cm einhalten
- Nur Geräte einsetzen, welche die erforderliche Mindestdistanz mittels Abstandhaltern gewährleisten
- Keine Mäh-/Sauggeräte einsetzen, welche gleichzeitig mit dem Schnitt absaugen

Der Umgang mit dem Schnittgut, das an den Fuss der Stützgitterböschung fällt, richtet sich nach der Lage des Objekts. Da liegen gebliebenes und abgebautes organisches Material den Boden anreichert, können am Fuss der Steilböschung dichtere Vegetationsausbildungen aufwachsen. In manchen Lagen ist diese Entwicklung unerwünscht, in anderen Lagen unproblematisch.

Abb. 7.87 Pflege der Feldschicht von Stützgitterböschungen

Lage	Vegetationstyp(en)	Pflegemassnahmen	Ziele gemäss Kap. 7.3.1
Sonnige Steilböschungen mit schütterer, teils in Horste aufgelöster Vegetation			
an Verkehrswegen	Wärmeliebender Saum, ausdauernde, wärmeliebende Ruderalflur	- Mahd jährlich 1x im Frühherbst - Schnittgut/Mulch entfernen	a, c, d, e, f
in der Landschaft	Ausdauernde, wärmeliebende Ruderalflur	- Mahd alle zwei Jahre 1x im Frühherbst - Schnittgut/Mulch liegen lassen	a, c, d, f, g
in der Siedlung	Wärmeliebender Saum, ausdauernde, wärmeliebende Ruderalflur	- Mahd jährlich 1x im Frühherbst - Schnittgut/Mulch entfernen - eventl. zusätzliche gezielte Eingriffe	a, c, d, f, g, h
Schattige Steilböschungen mit dominierenden Grasarten			
an Verkehrswegen	Halbruderale Wiese	- Mahd jährlich 2x (Ende Mai, August) - Schnittgut/Mulch entfernen	a, b, d, e, f
in der Landschaft	Halbruderale Wiese mit Saumarten	- Mahd jährlich 1x (August) - Schnittgut/Mulch entfernen	a, c, d, f, g
in der Siedlung	Fromental-Wiese	- Mahd jährlich 2x (Mitte Juni, August) - Schnittgut/Mulch entfernen - eventl. zusätzliche gezielte Eingriffe	a, c, d, f, g, h
Schattige Steilböschungen unterhalb von Wald oder Gehölzen			
an Verkehrswegen	Gehölzsaum, Hochstaudenflur	- Mahd jährlich 1x im Frühherbst - Schnittgut/Mulch entfernen	a, c, d, e, f
in der Landschaft	Gehölzsaum, Hochstaudenflur	- Mahd alle zwei Jahre 1x im Frühherbst - Schnittgut/Mulch liegen lassen	a, c, d, f, g
in der Siedlung	Gehölzsaum	- Mahd jährlich 1x im Frühherbst - Schnittgut/Mulch liegen lassen - eventl. zusätzliche gezielte Eingriffe	a, c, d, f, g, h

Düngung

Eine Düngung im Rahmen der Pflege ist unnötig. Die Untersuchungen der Standorte wiesen Nährstoffvorräte aus, die für die erwünschten eher mageren, wenig Schnittgut produzierenden Gras- und Krautbestände ausreichen. Die vielen Lücken im Bestand, die praktisch alle älteren Stützgitterböschungen charakterisieren und durch Trockenheit und mangelnde Verjüngung verursacht sind, können durch eine Nachdüngung ohnehin nicht geschlossen werden.

Regulierung Mäuse

Mäuse können Löcher in die Front-Kunststoffgewebe und -vliese beißen und sie dadurch schwächen. Auch tragen ihre Gänge zur örtlichen Austrocknung des Substrats bei. Sie nagen die Pfahlwurzeln tief wurzelnder Kräuter an und verstärken dadurch Lücken im Bestand. Wenn sie Gehölze anfressen, können sie gravierende Ausfälle verursachen, die praktisch nicht mehr nachzupflanzen sind. Mäuse haben wohl Fressfeinde (Katzen, Füchse, Greifvögel); ein Greifen der Mäuse an den übersteilen Böschungen ist allerdings nicht möglich.

Da die Bekämpfung mittels Giftködern sehr aufwändig (Leitern, Hebebühnen) und auf die Dauer zu teuer ist, verbleibt nur die Prophylaxe. Dazu zählt zwingend der Einzelschutz der Sträucher bei der Pflanzung mittels Gittern, aber auch die ausschliessliche Verwendung von drahtverstärkten Wirrgelegen an der Front, die von den Mäusezähnen nicht durchbissen werden können.

7.3.3 Pflege der Gehölze

Die Pflege der Gehölze setzt ebenfalls die Ziele gemäss Kap. 7.3.1 um. Insbesondere ist Punkt e) Lichtraumprofil zu beachten. In Hinblick auf die Gehölze selbst sind tief ansetzende Verzweigungen mit stabilen, ausladenden und gut abdeckenden Ästen zu fördern. Bei wüchsigen Pflanzen ist deshalb ein Pflegeschnitt alle 6 Jahre sinnvoll.

Spontan aufgekommene Baumarten (Birken, Ahorne, Pappeln, Robinien) sind zu entfernen. Spontane Straucharten wie die Pionierart Sommerflieder / *Buddleja davidii* können belassen und gepflegt werden, falls dessen Brüchigkeit keine Gefahr darstellt.

7.4 Weitere Untersuchungen

Spezifische Samenmischungen

Die von den Begrünungsfirmen eingesetzten Samenmischungen dürften in der Mehrheit konfektionierte Produkte sein, wie sie für Blumenwiesen, Strassenböschungen oder Gründächer verkauft werden. Nur bei wenigen Objekten wurden besondere Mischungen zusammengestellt. Ob sich all diese Mischungen am schwierigen Standort Stützgitterböschung bewähren, erweist sich erst am konkreten Objekt. Dort sind Korrekturen, also Nach- oder Neusaaten, jedoch praktisch nicht möglich. Aktuell von grossem Nutzen wären deshalb mindestens 6-jährige Tests, in denen verschiedene spezifische Samenmischungen an Steilböschungen unter kontrollierten Bedingungen erprobt und bonitiert würden. Für Gehölze und Stauden an Steilböschungen gibt es solche Bonituren (Eppel-Hotz 2005), für Gras- und Krautmischungen fehlen sie.

Entwicklung der Vegetation

Die vorliegenden Befunde wurden an Objekten erhoben, die maximal 19 Jahre alt sind. Da die Nutzungsdauer der Bewehrungselemente - gemäss Rügger & Eberle (2006) 80 – 100 Jahre - und damit die Standzeit der Objekte viel höher veranschlagt sind, stellt sich die Frage, ob und wie die Vegetation der Front mithalten kann. Deshalb wird eine Wiederholung der Untersuchungen spätestens bei halber Nutzungsdauer der ältesten Objekte, also in 15-20 Jahren empfohlen. Möglicherweise werden dann praktisch vegetationslose Objekte angetroffen, wie sie Risseeuw & Dimiter (2001) bereits kennen.

Anhänge

I	Abbildungsverzeichnis.....	89
II	Begrünte Stützgitterböschungen 1 Objektdaten Screening.....	92
III	Begrünte Stützgitterböschungen 2 Fotos Screening.....	93
IV	Begrünte Stützgitterböschungen 3 Vegetationsaufnahmen	94
V	Begrünte Stützgitterböschungen 4 Korngrößen Wassergehalt	95
VI	Begrünte Stützgitterböschungen 5 Nährstoffe	96
VII	Begrünte Stützgitterböschungen 6 Meteodaten	97
VIII	Begrünte Stützgitterböschungen 7 Unterhalt	98

I Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1 Fragestellungen beim Screening	19
Abb. 2.2 Fragestellungen bei der Nachbefragung	20
Abb. 2.3 Beprobungsschema für Nährstoff- und Wassergehaltsbestimmungen	22
Abb. 2.4 Lage der Probeflächen am Objekt	23
Abb. 2.5 Grösse der Probeflächen in Aufnahmegruppe 1 und Aufnahmegruppe 2	23
Abb. 2.6 Schätzsкала für die Artmächtigkeit	24
Abb. 2.7 Zählrahmen	24
Abb. 2.8 Zählrahmen mit Zählbalken	24
Abb. 2.9 Zählbalken mit Nadel	25
Abb. 2.10 Zählbalken in Vegetationslücken	25
Abb. 2.11 Verhältnis der Gesamtabundanz zur Gesamtdeckung in acht Objekten	26
Abb. 2.12 Zeigerwerte F; R; N und H nach Landolt 1977	26
Abb. 2.13 Fragestellungen bei der Befragung der Pflegedienste	27
Abb. 3.14 Zustand der Stützgitter in Abhängigkeit vom Alter der Objekte	30
Abb. 3.15 Zustand Front-Geokunststoff in Abhängigkeit vom Alter der Objekte	31
Abb. 3.16 Zustand Front-Geokunststoff in Abhängigkeit von der Exposition der Objekte	31
Abb. 3.17 Zustand der Vegetation in Abhängigkeit vom Alter der Objekte	32
Abb. 3.18 Zustand der Vegetation in Abhängigkeit von der Exposition der Objekte	32
Abb. 3.19 Schutz der Stützkonstruktionen an National- und Kantonsstrassen	34
Abb. 4.20 Schema Bodenaufbau	35
Abb. 4.21 Normbereich der leichtverfügbaren Nährstoffe	37
Abb. 4.22 Nährstoffgehalte, pH und Salzgehalt und ihre Abweichungen vom Normbereich in den beprobten Stützgitterböschungen	40
Abb. 4.23 Höchste Wassergehalte in den beprobten Stützgitterböschungen	42
Abb. 5.24 Übersicht über die Untersuchungsobjekte	43
Abb. 5.25 Übersicht über die Referenzobjekte	44
Abb. 5.26 Durchschnittliche Artenzahl pro Aufnahme und Fläche	45
Abb. 5.27 Artenzahl der Aufnahmen in Abhängigkeit vom Alter der Steilböschungen	45
Abb. 5.28 Artenzahl der Aufnahmen in Abhängigkeit der Exposition der Steilböschungen	46
Abb. 5.29 Häufigste Arten in den untersuchten Stützgitterböschungen	47
Abb. 5.30 Tiefwurzler	48
Abb. 5.31 Trichterspinne	48
Abb. 5.32 Übrige Arten in den untersuchten Stützgitterböschungen	49
Abb. 5.33 In Stützgitterböschungen nachgewiesene, vermutlich eingebrachte Arten	49
Abb. 5.34 Häufigste, vermutlich eingebrachte Gräser sowie Kräuter	50
Abb. 5.35 Häufigste mehrjährige spontane Arten	50
Abb. 5.36 Ausbreitungsweisen der in Stützgitterböschungen häufigsten spontan	52
Abb. 5.37 Übersicht über spontan aufgekommene, besondere Arten	53
Abb. 5.38 Hirschwurzel	53
Abb. 5.39 Hirschwurzel und Streifenfarn	53
Abb. 5.40 Wiesen-Storchnabel	54
Abb. 5.41 Berg-Ehrenpreis	54
Abb. 5.42 Raue Nelke	54
Abb. 5.43 Flechtenspezies	54

Abb. 5.44 Häufigste ökologische Gruppen unter den spontan aufgekommenen Arten in Stützgitterböschungen	55
Abb. 5.45 Beispiel Deckung I	56
Abb. 5.46 Beispiel Deckung II	56
Abb. 5.47 Beispiel Deckung III	56
Abb. 5.48 Beispiel Deckung IV	56
Abb. 5.49 Gesamtdeckung der Vegetation nach dem Alter der Objekte	56
Abb. 5.50 Gesamtdeckung der Vegetation nach der Exposition der Objekte	57
Abb. 5.51 Gesamtmächtigkeit der angesäten Arten nach Alter der Objekte	58
Abb. 5.52 Gesamtmächtigkeit der spontanen Arten nach Alter der Objekte	58
Abb. 5.53 Arith. Mittel der Gesamtmächtigkeit aller Arten nach Alter der Objekte	59
Abb. 5.54 Gesamtmächtigkeit der angesäten Arten nach Exposition und Alter der Objekte	59
Abb. 5.55 Gesamtmächtigkeit der spontanen Arten nach Exposition und Alter der Objekte	60
Abb. 5.56 Gesamtmächtigkeit der angesäten Arten an Hangvorschüttungen nach Alter der Objekte	60
Abb. 5.57 Gesamtmächtigkeit der spontanen Arten an Hangvorschüttungen nach Alter der Objekte	61
Abb. 5.58 Gesamtmächtigkeit der angesäten Arten an Wällen nach Alter der Objekte	61
Abb. 5.59 Gesamtmächtigkeit der spontanen Arten an Wällen nach Alter der Objekte	61
Abb. 5.60 Gesamtabundanz und Gesamtdeckung der Vegetation in den untersuchten Stützgitterböschungen	62
Abb. 5.61 Gesamtabundanz und Gesamtdeckung in den Referenzobjekten	62
Abb. 5.62 Gesamtabundanz der Vegetation nach Exposition (summierte Abundanzen der Moose, Farne, Gräser und Kräuter	63
Abb. 5.63 Summierte arith. Mittel der Abundanzen der einzelnen Lebensformen nach Exposition	64
Abb. 5.64 Gesamtabundanz der Sprosspflanzen (Abundanzen der Lebensformen ohne Moose) nach Exposition	64
Abb. 5.65 Gesamtabundanz der Moose nach Exposition.	64
Abb. 5.66 Mittlere, nach Artmächtigkeit gewichtete Zeigerwerte der Vegetation für F, R, N und H in allen untersuchten Objekten	65
Abb. 5.67 Arith. Mittel der Zeigerwerte F, R und N aller Vegetationsaufnahmen pro Objekt, nach F geordnet. XX-01 und XX-02 normale Böschungen, alle anderen Stützgitterböschungen	66
Abb. 5.68 Grobe Gruppierung der untersuchten Objekte nach ihren Zeigerwerten für F, R und N	66
Abb. 5.69 Gemeine Heideschnecke	67
Abb. 5.70: Zauneidechse	67
Abb. 5.71: Mäuseschäden I	68
Abb. 5.72: Mäuseschäden II	68
Abb. 5.73: Mäuseschäden III	68
Abb. 5.74: Mäuseschäden IV	68
Abb. 5.75: Mäuseschäden V	68
Abb. 5.76: Mäuseschäden VI	68
Abb. 6.77 Wirkungsnetz verschiedener Faktoren, die Lücken im Bestand verursachen (Klein 1980, verändert und ergänzt)	72
Abb. 6.78: Horizontale Vegetationslücken	73

Abb. 6.79: Horizontale Vegetationsstreifen	73
Abb. 6.80: Wind und starke Besonnung	73
Abb. 6.81: Wind, Schatten und feuchte Luft	73
Abb. 7.82 Einsatzbereich der Systemkomponenten für die Front bei Stützgitterböschungen unterschiedlicher Neigung gemäss Herold, Hoy & Artmann (2000)	80
Abb. 7.83 Entscheidungskriterium Exposition	81
Abb. 7.84 Entscheidungskriterium Höhe des Bauwerks	81
Abb. 7.85 Geeignete Gräser und Kräuter in Stützgitterböschungen	83
Abb. 7.86 Bewährte Gehölze in Stützgitterböschungen	84
Abb. 7.87 Pflege der Feldschicht von Stützgitterböschungen	86

II Begrünte Stützgitterböschungen 1 Objektdaten Screening

(Datei befindet sich auf beiliegender CD-ROM)

III **Begrünte Stützgitterböschungen 2 Fotos Screening**

(Datei befindet sich auf beiliegender CD-ROM)

IV Begrünte Stützgitterböschungen 3 Vegetationsaufnahmen

(Datei befindet sich auf beiliegender CD-ROM)

V Begrünte Stützgitterböschungen 4 Korngrößen Wassergehalt

(Datei befindet sich auf beiliegender CD-ROM)

VI Begrünte Stützgitterböschungen 5 Nährstoffe

(Datei befindet sich auf beiliegender CD-ROM)

VII Begrünte Stützgitterböschungen 6 Meteodaten

(Datei befindet sich auf beiliegender CD-ROM)

VIII Begrünte Stützgitterböschungen 7 Unterhalt

(Datei befindet sich auf beiliegender CD-ROM)

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
Arith. Mittel	arithmetisches Mittel
m.ü.M	Meter über Meer
SN	Schweizer Norm
StdAbw	Standardabweichung
VBBö	Verordnung (des Bundes) vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens

Literaturverzeichnis

-
- [1] Aichele Dietmar, Schwegler Heinz-Werner (1984).- Unsere Moos- und Farnpflanzen: eine Einführung in die Lebensweise, den Bau und das Erkennen heimischer Moose, Farne, Bärlappe und Schachtelhalme.- Stuttgart: Franckh'sche Verlagshandlung, 1984
-
- [2] Aschauer Franz (2005).- Forschungsprojekt: Begrünte Lärmschutzsteilwälle.- FORSCHUNG NEWSLETTER, Universität für Bodenkultur Wien, 10/4, 2005
-
- [3] Auerswald Birgit, Fahrmeier Peter.- Sammeln und säen: mit Beiträgen [...] zu Saatgutwerbung, Reinigung, Lagerung, Keimfähigkeit und Keimprüfungen, Korn-Gramm-Gewichte.- Kassel: AG Freiraum und Vegetation, 1987
-
- [4] Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt (Hrsg.).- Siedlungsverträgliche Lärmschutzwände: Arbeitshilfe zum baulichen Lärmschutz an Strassen.- Zürich: Fachstelle Lärmschutz, 2009
-
- [5] Bundesamt für Strassen ASTRA.- Kostengrundlagen für die Anwendung von SRU-301 und UV-0609 bei Lärmsanierungsprojekten.- Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung – Stand Dezember 2006: Anhang 4b, Version 18.12.2007
-
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.- Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstrassen 2010.-
<http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/59620/publicationFile/46083/statistik-laermschutz-an-bundesfernstrassen-2010.pdf>
-
- [7] Buser Hans (1994).- Grüne Schallschutzwände.- INGENIEURBIOLOGIE 4/94, S. 3-8
-
- [8] Dannemann Andrea, Jackel Anne-Kathrin (2004).- BIOPOP: Eine Datenbank von Pflanzenmerkmalen und eine Internet-Anwendung für den Naturschutz.- Aktueller Stand März 2004.-
<http://www.floraweb.de/proxy/biopop/>
-
- [9] Dierschke Hartmut.- Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden.- Stuttgart: Ulmer, 1994
-
- [10] Eggenberg Stefan, Möhl Adrian (2007).- Flora Vegetativa: ein Bestimmungsbuch für Pflanzen der Schweiz im blütenlosen Zustand.- Bern: Haupt, 2007
-
- [11] Eppel-Hotz Angelika (2000).- Temperaturen an Lärmschutzsteilwällen.- Stadt + Grün 49/10 (2000), 662-665
-
- [12] Eppel-Hotz Angelika (2004).- Wandbegrünung am Strassenrand: Welche Pflanzen halten das aus? Veitshöchheimer Berichte aus der Landespflege; 74, 69-75 (2004)
-
- [13] Eppel-Hotz Angelika (2005).- Überlebenskünstler an Lärmschutzsteilwällen: Welche Pflanzenarten, Systeme und Substrate haben sich bewährt? Veitshöchheimer Berichte aus der Landespflege; 84, 79-85 (2005)
-
- [14] Eppel-Hotz Angelika, Schwarz Tassilo (2004).- Wandbegrünung am Strassenrand: Welche Kletterpflanzen halten das aus? Stadt + Grün 53/4 (2004), 47-50
-
- [15] Eppel-Hotz Angelika, Schwarz Tassilo, Vollrath Birgit (2001).- Begrünung von Lärmschutzsteilwällen: Welche Pflanzen, Systeme und Substrate haben sich bewährt? Stadt + Grün 50/10 (2001), 685-689
-
- [16] Esser Clemens (1995).- Entwicklung und Konstruktion eines neuartigen Lärmschutzsteilwalles mit Kulturversuch (Salix purpurea 'Nana', Ligustrum vulgare 'Atrovirens') zur Überprüfung der vegetationsstechnischen Tauglichkeit: Diplomarbeit Uni Geisenheim, 1995, http://www.atelier-esser.de/details_steilwall.htm
-
- [17] Florineth Florin.- Pflanzen statt Beton: Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik.- Berlin; Hannover: Patzer, 2004
-
- [18] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), Bonn (Hrsg.).- Empfehlungen zur Begrünung von Problemflächen (Ausgabe 1998).- Bonn, 1998
-

-
- [19] Herold Andreas, Hoy Gerhard, Artmann Stefanie.- Ansätze zur Begrünung kunststoffbewehrter Stützkonstruktionen.- *geotechnik*; 23/2 (2000), 87-93
-
- [20] Heinken Andreas (2001).- Vegetationsentwicklung von Auengrünland nach Wiederüberflutung.- Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I der Humboldt-Universität zu Berlin, 2001.- <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/heinken-andreas-2001-07-09/HTML/chapter3.html>
-
- [21] Herndl Markus et al. (2011).- Wurzelparameter von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage zur Bewertung von Trockenheitstoleranz im Grünland.- 1. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung 2011, S. 45-54
-
- [22] Jackel Anne-Kathrin, Dannemann Andrea, Tackenberg Oliver, Kleyer Michael, Poschlod Peter.- BioPop - Funktionelle Merkmale von Pflanzen und ihre Anwendungsmöglichkeiten im Arten-, Biotop- und Naturschutz.- *Naturschutz und Biologische Vielfalt*; 32.- Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz, 2006
-
- [23] Kanton Aargau, Departement BVU, Abt. Tiefbau; Rüeegg Rudolf, Eberle Anton.- Stützkonstruktionen aus bewehrter Erde: Richtlinie für Planung, Bemessung, Ausschreibung, Ausführung, Überwachung, Unterhalt.- Aarau: BVU, 2006
-
- [24] Kanton Wallis (2008).- A9online: Umwelt, Umweltmassnahmen Lärmschutz.- www.a9-vs.ch (besucht 07.04.2008)
-
- [25] Keil Peter et al. (2010).- Artenvielfalt auf der A40 im Ruhrgebiet.- *Natur in NRW*; 4/2010, 11-17
-
- [26] Klapp Ernst, Opitz von Boberfeld Wilhelm (1990).- Taschenbuch der Gräser: Erkennung und Bestimmung, Standort und Vergesellschaftung, Bewertung und Verwendung.- 12. überarb. Aufl.- Berlin; Hamburg: Parey, 1990
-
- [27] Klein Andreas (1980).- Die Vegetation an Nationalstrassenböschungen der Nordschweiz und ihre Eignung für den Naturschutz.- Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel; 72.- Zürich: Geobotanisches Institut ETH, 1980
-
- [28] Krause Albrecht (1989).- Rasenansaat und ihre Fortentwicklung an Autobahnen: Beobachtungen zwischen 1970 und 1988.- Bonn- Bad Godesberg: Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, 1989
-
- [29] Küchler Meinrad (2009).- Software VEGEDAZ: Programm für die Erfassung und Auswertung von Vegetationsdaten.- Update 2009.- Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Beratungsstelle für Moorschutz, 2009
-
- [30] Kutschera Lore, Lichtenegger Armin (1992).- Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen: Band I Monocotyledoneae; Band II Pteridophyta und Dicotyledoneae (Magnoliopsida).- Stuttgart: Gustav Fischer, 1982, 1992
-
- [31] Lachat Bernard (2005).- Le génie biologique est-il toujours du génie biologique? *Ingenieurbiologie*; 3+4/2005, S. 51-55
-
- [32] Landolt Elias (1977).- Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora.- Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Zürich; 64.- Zürich: Geobotanisches Institut der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, 1977
-
- [33] Lauber Konrad, Wagner Gerhart (1996).- *Flora Helvetica*.- Bern: Haupt, 1996
-
- [34] Lindacher Roland et al. (1995).- PHANART: Datenbank der Gefässpflanzen Mitteleuropas: Erklärung der Kennzahlen, Aufbau und Inhalt.- Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich; 125.- Zürich: Geobotanisches Institut der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, 1995
-
- [35] Meier Dominic (2003).- Begrünbare Hangsicherungssysteme.- *anthos*; 4/2003, 36-39
-
- [36] Molder Frank (1995).- Vergleichende Untersuchungen mit Verfahren der oberbodenlosen Begrünung unter besonderer Berücksichtigung areal- und standortbezogener Ökotypen.- Giessen: Justus-Liebig-Universität, 1995
-

-
- [37] Müller Steffen.- Beitrag zur Aussenhaut von begrünbaren geokunststoffbewehrten Steilböschungen: Tagungsbericht zur 7. Informations- und Vortragstagung der Fachsektion "Kunststoffe in der Geotechnik", 20.-21.03.2001 in München.- (www.gepro-dresden.info/Publikationen/Beitraege/K_GEO2001.pdf)
-
- [38] Müller-Schneider P (1983).- Verbreitungsbiologie (Diasporologie) der Blütenpflanzen.- 3., durchgesehene Aufl.- Veröffentlichungen des geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, in Zürich; 61 (1983)
-
- [39] Nebel Martin, Philippi Georg (2000).- Die Moose Baden-Württembergs: Bände I – III.- Stuttgart: Ulmer, 2000 - 2005
-
- [40] Oberdorfer Erich (1983).- Süddeutsche Pflanzengesellschaften: Teil III.- 2., stark bearb. Aufl.- Stuttgart: Fischer, 1983
-
- [41] Oberdorfer Erich (1990).- Pflanzensoziologische Exkursionsflora.- Stuttgart: Ulmer, 1990
-
- [42] Patent-De (2009).- Patentschrift DE102004014539B4 29.01.2009: System zur Errichtung von begrünbaren Stützbauwerken und Steilböschungen.- <http://www.patent-de.com>
-
- [43] Rattay-Prade Regina (1988).- Die Vegetation auf Strassenbegleitstreifen in verschiedenen Naturräumen Südbadens – ihre Bewertung für den Naturschutz und ihre Bedeutung für ein Biotopverbundsystem.- Berlin; Stuttgart: J. Cramer, 1988
-
- [44] Risseuw Paul, Alexiew Dimiter (2001) - Erfahrungen mit einer der ältesten geotextilbewehrten Stützwände in Europa: Bauweise, Statik, Verhalten, Langzeitbeständigkeit.- Tagungsbericht zur 7. Informations- und Vortragstagung der Fachsektion "Kunststoffe in der Geotechnik", 20.-21.03.2001 in München.
<http://www.lrzmuemchen.de/~t5412cs/webserver/webdata/fachsektion/tagung/nr7/kf/fskgeo01-abstrakts-st.htm>
-
- [45] Rügger Rudolf, Eberle Anton (2006).- Stützkonstruktionen aus bewehrter Erde: Richtlinie für Planung, Bemessung, Ausschreibung, Ausführung, Überwachung und Unterhalt.- Aarau: Departement Bau, Verkehr Umwelt, Abt. Tiefbau, 2006
-
- [46] Skirde Werner.- Vegetationstechnik, Rasen und Begrünungen.- (Landschafts- und Sportplatzbau; 1).- Berlin; Hannover: Patzer, 1978
-
- [47] Stottele Tillmann, Sollmann Achim (1992).- Ökologisch orientierte Grünpflege an Strassen: Grundlagen für die Entwicklung von Pflegeplänen und deren Anwendung: ein Pilotprojekt der Hessischen Strassenbauverwaltung.- Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Strassenbau, 1992
-
- [48] Stutz Cornel (2005).- Das Versammlungspotential der Gräser nutzen.- Bericht zur Grünlandfachtagung für Hanglagen, 18.08.2005, Schwarzenberg.- Zürich: Agroscope FAL Reckenholz, 2005
-
- [49] Tobias Silvia (1994).- Lärmschutz durch Pflanzen – eine Aufgabe der Ingenieurbiologie? Ingenieurbiologie; 4/1994, 9-12
-
- [49] Ullmann Isolde, Heindl Bärbel (1986).- Ersatzbiotop Strassenrand: Möglichkeiten und Grenzen des Schutzes von basiphilen Trockenrasen an Strassenböschungen.- Berichte der ANL; 10(1986), 103-118
-
- [50] VSS (2010).- SN 640 621 Ingenieurbiologie: Bauweisen, Bautechniken und Ausführung.- Gültig ab 1. Februar 2010.- Zürich: VSS, 2010
-
- [51] VSS (2011).- SN 640 671c Grünräume: Begrünung, Saatgut, Mindestanforderungen und Ausführungsmethoden.- Gültig ab 1. Februar 2011.- Zürich: VSS, 2011
-
- [52] Wegelin Thomas (1984).- Schaffung artenreicher Magerwiesen auf Strassenböschungen: Eignung von verschiedenem Saatgut für die Neuschaffung Mesobrometum-artiger Bestände: eine Untersuchung in der Nordschweiz.- Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETHZ, Stiftung Rübel; 82.- Zürich: Geobotanisches Institut ETH, 1984
-
- [53] Wilmanns Otti, Wimmenauer Wolfhard, Fuchs Gerhard.- Der Kaiserstuhl: Gesteine und Pflanzenwelt.- Stuttgart: Ulmer, 1989 (S. 107-124)
-

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

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 5. Juni 2012

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2009/601
 Projekttitel: Begrünte Stützgitterböschungssysteme:
 Zustand, Vegetation und Verbesserungsvorschläge für Systemwahl und nachhaltige Begrünung
 Enddatum: 30. Juni 2012

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die technischen Bauteile der beurteilten Stützgitterböschungen - Gitter und Front-Geokunststoff - sind grossmehrwertig einwandfrei. Bei der Vegetation der Front zeigen jedoch nur 2/3 der Objekte eine mehrheitlich gute Entwicklung; 1/3 der Begrünungen sind schlecht bis sehr schlecht. Die befragten Unterhaltsklassen äussern sich bei der Hälfte ihrer Objekte bezüglich Vegetation kritisch, nicht ganz zufrieden oder eigentlich enttäuscht. Die Substrate entsprechen im Grossen und Ganzen der Stabkurve, wie sie die Richtlinie des Kantons Aargau vorgibt. Die Nährstoffgehalte sind eher im tiefen bis mittleren Bereich angesiedelt. Die höchsten Wassergehalte werden entweder in der Böschungskrone oder im Böschungsfuss gemessen, die geringsten in der Böschungsmitte.

An den untersuchten Stützgitterböschungen können auf 12 m² grossen Stichprobeflächen im Schnitt 16 Pflanzenarten gefunden werden. 7% aller Arten sind Moos- oder Flechten, 3% Farne oder Schachtelhalme, 14% Gräser, 62% krautige und 14% der Arten holzige Pflanzen. 82% aller Arten sind mehrjährig, 18% ein- oder zweijährig. Auffällig, aber für den Standort typisch ist die hohe Zahl von Arten, die sehr tief zu wurzeln vermögen. Ebenfalls gut vertreten sind die Arten, die mittels Spross- oder Wurzelnebenläufern in die Breite wachsen und neue Tochterpflanzen bilden können. Insgesamt konnten 148 Pflanzenarten angesprochen werden. 26% sind mit hoher Wahrscheinlichkeit angesät oder gepflanzt worden, 74% spontan aufgefunden. Angesichts des besonderen Standorts verwundert nicht, dass 60 von 82 als spontan registrierten Arten mit dem Wind gekommen sind. Praktisch alle spontanen Arten sind nicht gefährdet und fast durchwegs weit verbreitet. Auf Grund des Artenspektrums und der nachgewiesenen ökologischen Gruppen lässt sich die Vegetation der mehr als 3 Jahre alten Stützgitterböschungen am ehesten den halbruderalen Halbtrockenrasen sowie den frischen Saumgesellschaften zuweisen.

Die durchschnittliche Gesamtdeckung aller untersuchten Objekte beträgt 66% bei einer sehr grossen Standardabweichung von 26.2%. Mit zunehmendem Alter ändert sich die Gesamtdeckung nicht signifikant, aber die Deckung der angesäten sowie der spontanen Arten. Die ersteren verlieren an Deckung, während die spontan aufgefundenen Arten ihre Flächenanteile vergrössern. Deutlich zeigt sich die Abhängigkeit von der Exposition: In sonnigen Lagen ist die Gesamtdeckung am geringsten, in schattigen Lagen am höchsten. Dies ist vor allem den Moosen und Farne zu verdanken, die sich auf offenen Böschungsbereichen feuchter Lagen etablieren können.

Anhand der Zeigerwerte der festgestellten Arten für Feuchtigkeit, Nährstoff- und Basenversorgung lassen sich die untersuchten Objekte in vier Gruppen gliedern. Die erste Gruppe ist durch nährstoffarme und trockene Bedingungen charakterisiert und entspricht den Zeigerwerten normal geeigneter Magerrasen. Die anderen drei Gruppen erweisen sich als ausreichend mit Nährstoffen und Wasser versorgt.

Gemäss der Richtlinie des Kantons Aargau für Bauwerke aus bewehrter Erde muss die begrünte Front von Stützgitterböschungen bestimmte Anforderungen erfüllen. Die Untersuchung ergibt, dass die untersuchten Objekte diese Anforderungen nur teilweise oder gar nicht erfüllen.

- Standortgerechte Artenzusammenstellung: Die beobachteten und als angesät eingeschätzten Arten können grundsätzlich als geeignet taxiert werden. Allerdings fallen sie zunehmend aus und werden von spontan aufgefundenen Arten abgelöst.
- Vielfältiger Deckungsgrad an der Konstruktionsfront: Bei den untersuchten Objekten erfüllt die Vegetation diese Anforderung nicht. Die Gesamtdeckung beträgt durchschnittlich nur 66 %, wobei schattige Stützgitterböschungen dank der Moos- besser bewachsen sind als sonnige.
- Intensive Durchwurzelung an der Konstruktionsfront mit Tiefenwirkung: Eine Durchwurzelung mit Tiefenwirkung kann auf Grund der vorkommenden Pflanzenarten angenommen werden. Angesichts der mangelhaften Deckungswerte stellt sich die Frage, ob die Durchwurzelung intensiv genug ist.
- Etablierung und langfristige Weiterentwicklung der Pflanzen: Die geforderte langfristige Weiterentwicklung ist nur gewährleistet, wenn sich die Arten am Standort durch Samenbildung und die Etablierung von samenbürtigen Jungpflanzen angeweisen. Rasenbildende Gräser können sich generell über Ausläufer verjüngen. Die generell ungünstigen Bedingungen für Keimung und Keimlingsentwicklung an den Stützgitterböschungen erschweren insbesondere die Weiterentwicklung der Horstgräser und der Kräuter, die sich aus Samen verjüngen. Die langfristige Weiterentwicklung der Pflanzen ist deshalb ungewiss.
- Überdauern von sommerlichen Trockenperioden: Die Anforderung wird von den stark besonnten Objekten nicht erfüllt.
- Minimierung der kostenintensiven Unterhaltsarbeiten: Dem Objekt nicht angemessenes Arbeiten oder ungeeignete Geräte beschädigten anfänglich eilige Stützgitter. Die anschließende Eigenentwicklung von Spezialmähern, die Zurnete von Spezialgeräten oder der Bezug von Spezialfirmen verursachen höhere Kosten als prognostiziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

- 1) Erfassung des aktuellen Zustandes von begrünten Stützgitterböschungssystemen verschiedenen Alters und verschiedener Lagen: Der Zustand (insbesondere Stützgitter, Geokunststoffe, Vegetation) von 40 Objekten wurde beurteilt und mittels Datenblättern und Fotos dokumentiert.
- 2) Typisierung der untersuchten Objekte bezüglich Charakteristik des Standorts, Charakteristik der Vegetation, Zustand der Bewehrung: Bei einer Auswahl von 14 Objekten wurde die Vegetation erhoben, untersucht und charakterisiert; bei 6 Objekten die Substrate beprobt und nach verschiedenen Parametern analysiert.
- 3) Entwickeln einer Entscheidungshilfe (Stützgitterböschung / Betonwand mit Vorpflanzung; Begrünung mit Gehölzen / Begrünung mit Gras und Kräutern; Felsflur / Trockenrasen / Krautsaum): Es wurden Kriterien erarbeitet, welche die Systemwahl in Hinblick auf eine nachhaltige Begrünung zuverlässiger machen und die Wahl der geeigneten Bepflanzung erleichtern. Eine Differenzierung der Zielvegetation (Felsflur/Trockenrasen/Krautsaum) ist angesichts der spontan erfolgenden Vegetationsumschichtungen nicht möglich.
- 4) Optimieren der Substrate und der Bepflanzung (Verbessern der Samenmischungen, verbessern der Liste geeigneter Gehölze) in Hinblick auf eine nachhaltige Begrünung: Vorschläge für verbesserte Samenmischungen und Gehölzlisten liegen vor. Hinweise zur Modifikation der Substrate entfallen, da ihr Einfluss gegenüber anderen Standortfaktoren (Exposition, Neigung, Art des Geokunststoffes) zurücktritt.

Folgerungen und Empfehlungen:

- 1) An voll sonnenigen Standorten bewähren sich begrünte Stützgitterböschungen nicht. Für die Stützfunktion sind andere Lösungen zu wählen.
- 2) Stützgitterböschungen über 2,5m erhalten in der Stützungsmitte zu wenig Feuchtigkeit, was das Fortkommen der Pflanzen einschränkt. Die Stützgitterböschungen sind deshalb mit Bermen abzusichern und die Bermen mindestens 50 cm breit anzulegen.
- 3) Als Front-Geokunststoffe sind nur Wirlgelege und diese in hellen Farbtönen einzusetzen. Die Stäbe der Stützgitter müssen verzinkt sein.
- 4) Es muss klar kommuniziert werden, dass in der Standzeit der Konstruktion im besten Fall stark ruderal geprägte, saumartige Pflanzenbestände mit regelmäßiger Präsenz von neophytischen Hochstauden und sog. Unkräutern das Vegetationsbild prägen. Da die Vegetation durchschnittlich nur 2/3 der Fläche deckt, sind Eisengitter und Front-Geokunststoff immer sichtbar.
- 5) Für die Ansaatmischungen werden als Dauergräser fünf Rasengrassorten sowie zwei Horstgrasarten empfohlen. Andere Horstgräser stellen sich spontan ein. Als geeignete Kräuter sind Arten aufgelistet, die meist tief wurzeln, sich auch in eher trockenen Bedingungen bewähren und schöne Blühaspekte zu bilden vermögen. Es kann mit weiteren, spontan aufgekommenen Blütenpflanzen gerechnet werden.
- 5) Gehölze werden am sinnvollsten mit steinverfüllten Fronten kombiniert. Es können zwei Arten empfohlen werden, die sich bewährt haben. Die Wurzeln der Gehölze müssen mit Gittern gegen nachende Mäuser geschützt werden.
- 6) Die Pflege der begrünten Stützgitterböschungen besteht in der geeigneten Mahd. Eine Düngung erbringt sich. Häufigkeit und Zeitpunkt der Mahd sind unterschiedlich und auf Lage, Vegetationstyp und Ziele des Objekts abzustimmen.

Die vorliegenden Befunde wurden an Objekten erhoben, die maximal 19 Jahre alt sind. Da ihre Nutzungsdauer aber viel höher veranschlagt ist, wird eine Wiederholung der Untersuchungen spätestens bei halber Nutzungsdauer der ältesten Objekte, also in 15-20 Jahren empfohlen. Aktuell von grossem Nutzen wären mindestens 6-8erige Teilspezifischer Samenmischungen, die effektiv an Steilböschungen erprobt und sortiert werden müssten. Die Empfehlungen bezüglich Exposition und Höhe von Stützgitterböschungen hingegen, welche im vorliegenden Forschungsbericht formuliert sind, sollten bald möglichst in die Norm SN 640 621 "Ingenieurbiologie" übernommen werden.

Publikationen:

Forschungsbericht "Begrünte Stützgitterböschungssysteme: Zustand, Vegetation und Verbesserungsvorschläge für Systemwahl und nachhaltige Begrünung": Forschungsauftrag VSS 2009/601, Juni 2012

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Steinauer

Vorname: Peter

Amrt, Firma, Institut: SKK Landschaftsarchitekten AG, 5430 Wettingen

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Aus meiner Sicht erfüllt die vorliegende Forschungsarbeit die an sie gestellten Erwartungen. Die Erkenntnis, dass bewehrte Stützgittersysteme nicht an allen Standorten einsetzbar sind und sie bei entsprechender Begründung einem mageren Standort entsprechen ist bei der Planung von großer Wichtigkeit. Es werden dadurch enttäuschende, schlechte Resultate verhindert, welche später kaum mehr befriedigend korrigiert werden können.

Umsetzung:

Die vorliegende Forschungsarbeit liefert Grundlagen für die Weiterentwicklung der Norm SN 640 621 "Ingenieurbiologie". Die Ergebnisse und Hinweise dienen auch den Systemanbietern und insbesondere den öffentlichen Bauherren, die u.a. mit Lärmschutzbauten befasst sind. Schliesslich könnten sie Samenlieferanten motivieren, spezifische Mischungen für Steilböschungen zu entwickeln.

weitergehender Forschungsbedarf:

1) Spezielle Samenmischungen für Stützgitterböschungen:
Es existieren keine spezifischen Mischungen für Steilböschungen. In mindestens 5-jährigen Tests an unterschiedlich exponierten Objekten müssten mehrere Mischungen geprüft und eine geeignete evaluiert werden.
2) Nachhaltigkeit der Begründung von Stützgitterböschungen:
Die Nutzungsdauer von Stützgitterböschungen wird auf 90 bis 100 Jahre veranschlagt. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Objekte sind "erst" 10 Jahre alt. Deshalb erscheint es sinnvoll, die Untersuchungen spätestens bei halber Nutzungsdauer der heute ältesten Objekte, also in 15-20 Jahren, zu wiederholen.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Forschungsarbeit gelangt zu Ergebnissen, die für die Norm SN 640 621 "Ingenieurbiologie" relevant sind. Diese sollten bald möglichst in die Norm übernommen werden.

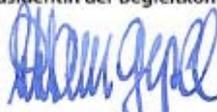
Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Gysel

Vorname: Niklaus

Amt, Firma, Institut: Baudirektion Zürich, Abt. Wald, Fachstelle Gestaltung und Bepflanzung

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

1/4

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Forschungsberichte seit 2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an ? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen <i>Transports de l'avenir ?</i> <i>Moteurs et carburants pour la mobilité de demain</i> <i>What drives us on ?</i> <i>Drives and fuels for the mobility of tomorrow</i>	2011
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im labormasstab <i>Désenrobage des enrobés peu bruyants des couches de roulement sous sollicitation de roulement en laboratoire</i> <i>Stripping of Low Noise Surface Courses during Laboratory Scaled Wheel Tracking</i>	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors <i>SPIN-ALP: Abschätzung des Potentials des Intermodalen Verkehrs auf Alpenkorridoren</i> <i>SPIN-ALP: Estimation du potentiel du transport intermodal sur les axes transalpins</i>	2010
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten <i>Fonctions de résistance pour des tronçons routiers urbains en dehors de la zone d'influence de carrefours</i> <i>Capacity restraint functions for urban road sections not affected by intersection delays</i>	2010
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-Vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes. <i>Die charakteristischen Indikatoren einer Velostadt. Evaluationsmethode der Velopolitiken anhand von 8 Indikatorgruppen für kleine und mittlere Gemeinden</i> <i>Characteristic indices of a Bike City. Method of evaluation of cycling policies in 8 indices for small and medium-sized communes</i>	2010
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology <i>Temps de parcours en réseau urbain</i> <i>Methodologie für Fahrzeitbewertung in städtischen Strassennetz</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit <i>Modèles d'impact d'équipements de véhicules pour améliorer la sécurité routière</i> <i>Modelling of the impact of in-vehicle equipment for the enhancement of traffic safety</i>	2009
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground <i>Entscheidungsgrundlagen und Hilfsmittel für die Planung von TBM-Vortrieben in druckhaftem Gebirge</i> <i>Critères de décision et outils pour la planification de l'avancement au tunnelier dans des conditions de roches poussantes</i>	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr <i>Basic technologies for detecting intermodal traveling passengers</i> <i>Les technologies de base pour l'enregistrement automatique des usagers de moyens de transports</i>	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr <i>L'agressivité au volant</i> <i>Aggressive Driving</i>	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS" <i>Projet initial pour le paquet de recherche "Augmentation de l'utilité pour les usagers du système d'information de la route"</i> <i>Initial project for the research package "Increasing benefits for the users of the road and transport information system"</i>	2011
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen <i>Application areas of various means of transportation in agglomerations</i> <i>Domaine d'application de différent moyen de transport dans les agglomérations</i>	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren <i>Investigations of the ice-wall grow and frost heave in artificial ground freezing</i> <i>Recherches sur la formation corps gelés et du soulèvement au gel pendant la procédure de congélation</i>	2010
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges <i>Qualitätsprüfung und Überwachung elektrisch isolierter Spannglieder in Brücken</i> <i>Contrôle de la qualité et surveillance des câbles de précontrainte isolés électriquement dans les ponts</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene <i>Sécurité en cas de tracés rail-route parallèles ou rapprochés</i> <i>Safety measures to manage risk of roads meeting or running close to railways</i>	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen <i>On-site runoff experiments on roads</i> <i>Essai d'écoulements pour l'évacuation des eaux des autoroutes</i>	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik <i>IT-Security pour la télématique des transports</i> <i>IT-Security for Transport and Telematics</i>	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen) <i>Passage pour piétons (les bases)</i> <i>Pedestrian crossing (basics)</i>	2011
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung <i>Quantification of the leakages into exhaust ducts in road tunnels with concentrated exhaust systems</i> <i>Quantification des fuites des canaux d'extraction dans des tunnels routiers à extraction concentrée de fumée</i>	2010
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels <i>Entwicklung einer besten Praxis-Methode zur Risikomodellierung für Strassentunnelanlagen</i> <i>Développement d'une méthode de meilleures pratiques pour l'analyse des risques dans les tunnels routiers</i>	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhand D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis <i>Essai de résistance aux sulfates selon la norme SIA 262/1, Annexe D: Applicabilité et importance pour la pratique</i> <i>Testing sulfate resistance of concrete according to SIA 262/1, appendix D: applicability and relevance for use in practice</i>	2011
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen <i>Coopération dans les gares et arrêts</i> <i>Coopération at railway stations and stops</i>	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs <i>Activity oriented analysis of induced travel demand</i> <i>Analyse orientée aux activités du trafic induit</i>	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung <i>Approches innovantes de la gestion du stationnement</i> <i>Innovative approaches to parking management</i>	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer? Driver Inattention and Distraction as Cause of Accident: How do Drivers Behave in Cars? L'inattention et la distraction: comment se comportent les gens au volant?	2012